

## 制限水路航行中の船の側壁影響について

著者	松村 泰材
学位授与機関	東京商船大学
学位授与年度	1977
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1342/00000846/">http://id.nii.ac.jp/1342/00000846/</a>

# 修 士 論 文

題目 制限水路航行中の  
船の側壁影響について

指導教授 岩井 聡

商船学研究科 航海学専攻

昭和 51 年入学

氏 名 松村 泰 材

昭和 <sup>53</sup>~~51~~ 年 / 月 31 日提出

# 目次

1. まえがき	1 頁
2. 船が側壁から受ける流体力	
2-1. 供試模型および実験装置	4
2-2. 回流水槽測定部の流速分布	7
2-3. 流体力の測定	10
3. 側壁影響を受ける船の運動の軌跡	
3-1. 運動方程式	18
3-2. 船の運動の計算	19
3-3. 船の運動の軌跡	22
4. 条件の異なる水路での運動	
4-1. 条件の異なる水路での流体力	49
4-2. 水路幅と可航幅	57
4-3. 水深と舵角	61
5. おわりに	70
6. Appendix - I	実験装置
" II	運動方程式
" III	計算プログラム
Appendix IV	4-3. 計算結果

## ABSTRACT

Every vessel preceeding in inland seas or in harbours has her own navigable waters. Width of that have a limitation due to environment of the canal, traffic volume, and other elements. Fairway to be taken by vessels is also provided in laws and regulations.

Wall effect, one of the several factors that is essential to the decision of fairways, is studied in this paper to examine a ship's motion and her navigable waters in the canal which gives hydraulic forces and moments on ship's hull.

## 1. まえがき.

内海あるいは港湾内の制限された水路では、法令によって独自の航路や航法が定められている場合が多い。

船舶が、このような水路内を航行する時には、その水路の水深、幅員、潮流等の自然条件、交通量、その他の様々な条件によって、自船に個有な可航水域が限定されてしまう。

制限水路において航路または航法を決定する場合には、これらの諸条件を考慮しなければならぬ。また本船側

にとって水路内での進路の選択にあたって、その目安を定めるために基本的な要素となる。

本稿は、これらの要素のひとつである側壁影響をとりあげ、船舶航行の自由度をどの程度拘束するかを調べ、水路内での可航幅の一例を求めようとするものである。

# SPECIAL SYMBOLS

3

$L$  ; Ship's length.

$B$  ; Ship's breadth.

$d$  ; Ship's draft.

$m$  ; Displacement. ( Mass )

$\delta$  ; Rudder angle.

$b$  ; Width of canal.

$h$  ; Depth of canal.

$y$  ; Lateral displacement of ship from the centre of the canal.

$\dot{y}$  ; Lateral displacement of ship from the wall.

$Y_w, N_w$  ; Hydraulic force and moment due to side wall.

$u, \dot{u}$  ; Velocity and acceleration of surging motion.

$v, \dot{v}$  ; Velocity and acceleration of swaying motion.

$r, \dot{r}$  ; Yawing motion( angular velocity and angular acceleration).

$I_z$  ; Mass moment of inertia of a ship about z-axis.

$X, Y, N$  ; External forces and moment about x,y,z-axes.

## 2. 船が側壁から受ける流体力

側壁影響のある水路を航行する船が受ける流体力を求めるために、東京商船大学回流水槽で実験を行なった。

### 2-1. 供試模型及び実験装置

#### 2-1-1. 供試模型

実験には、実船の縮尺  $1/200$  の模型を使用した。模型船の要目は以下のとおりである。

(タンカー型模型)

$L_{pp}$	:	1.500	m
B	:	0.250	"
d	:	0.095	" (Full loaded)
$\Delta$	:	15.050	kg ( " )
$L/B$	:	6.0	

#### 2-1-2. 回流水槽

水槽の形式は水平循環型で、測定部は水平開放型である。流速は  $0.2 \sim 2.0$  m/sec の範囲で可変である。今回の実験では、測定部を縮尺  $1/200$  の水路模型と考えた。

測定部の寸法

長さ (L)	:	3.500	m
幅 (b)	:	1.200	"

水深 (h) : 0.750 m

### 2-1-3 計測装置

#### ① 三分力計

磁歪管方式で水平面内の2分力 (X, Y 方向) 及び垂直軸周りのモーメント (N) の3成分を測定できる。

	測定範囲	誤差 (直線性)	差 (再現性)
前後応力	0 ~ ±2 kg	0.5%	0.3%
左右応力	0 ~ ±1 kg	0.5%	0.3%
モーメント	0 ~ ±2 kg-m	0.5%	0.3%

三分力計の測定範囲及び誤差は上のとおりである。

#### ② 強制ヨーイング装置

三分力計と同じ3分力の他に、模型船のヨーイング変位 ( $\phi$ )、左右動変位 ( $y$ ) を検出する。今回の実験では強制動揺は行なわず、静的状態のみで、三分力計と同じ X, Y, N の3分力の測定に使用した。

総合精度

± 0.5%



## 測定範囲

モーメント	$0 \sim \pm 2 \text{ kg} \cdot \text{m}$
横力 (左右応力)	$0 \sim \pm 1 \text{ kg}$
抵抗 (前後応力)	$0 \sim \pm 0.2 \text{ kg}$

## ③ 流速計

試験用水槽の流速を測定するもので、検出器は翼車式になっており、水面下でプロペラを遊転させその回転数をデジタル (またはアナログ) に検出する。今回はデジタルに表示された回転数を校正表によって流速に換算して求めた。

## 測定範囲

$0.1 \sim 2.0 \text{ m/sec}$

## 精 度

$\pm 0.7 \text{ mm/sec}$

## ④ ビジレコーダー

電圧に変換された、横力、モーメント及び流速をビジレコーダーを使用して感光紙上に記録した。

以上の装置が本実験で使用した計器類である。またこれらの装置の外観を Appendix I に示した。

## 2-2. 回流水槽測定部の流速分布

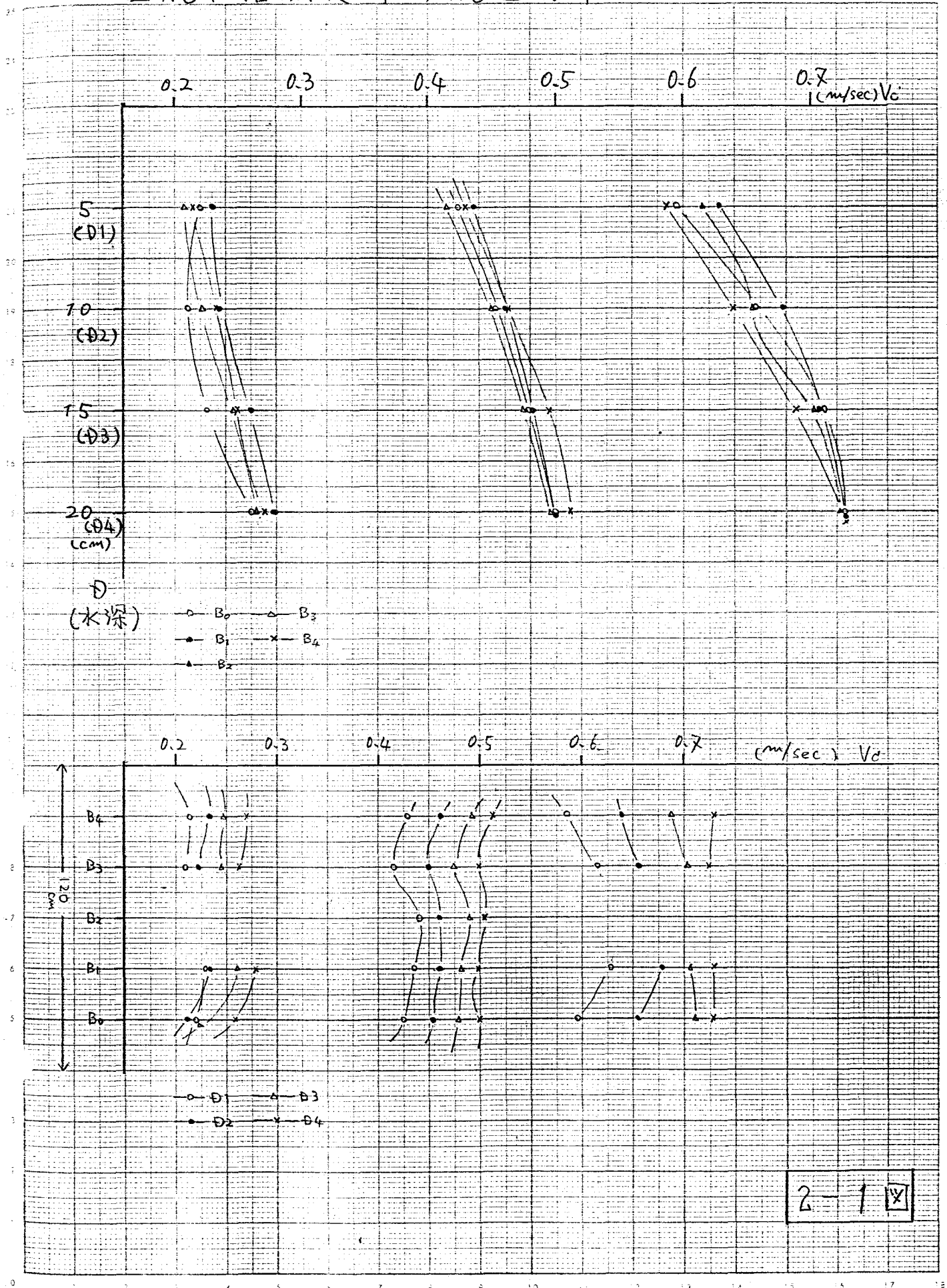
回流水槽の測定部での流れの様子を調べるために、前述の流速計を使用して水面から20 cmの深さまでの流速を測定した。

計測面は水槽測定部の中央横断面を採り、垂直方向は5 cm毎に、また横方向へは20 cm毎に計測点を定めた。

流速は0.25, 0.45, 0.65 m/secを基準とした3流速を測定した。各計測点での流速は3分間の連続計測の平均値をとった。流速として、3分程度の計測時間を定めて、その平均値を取れば、ほぼ正確な平均流速の分布状態が分る。

(2-1図)に流速の検定の結果を垂直分布と水平分布に分けて図示した。深さが0~20 cmの範囲では、水深が増すにつれ流速が大きくなる。横方向では、中央の流速が大きく、その両側では、分布に緩急が見られる。また流速の水平面内での変化は水面に近い程大きいことがわかる。3流速の分布状態を比較すると、流れの速度が増すにつれて流れが均一でなくなることがわかる。

# 回流水槽測定部の流速分布



2-1

流体力の測定では、流速計を深さ  $10\text{ cm}$ 、水槽測定部中央 ( $\frac{1}{2}l$ ) から上流  $125\text{ cm}$  の点 ( $D2, B2$ ) に設置した。この前後方向  $125\text{ cm}$  の距離を隔てた中央の点と上流側の点の流速は検定を行なって殆ど等しいことを確かめた。従って、水槽測定部の流れの不均一さを考慮する場合、中央横断面の流速のみについて調べれば足りる。

また模型船の喫水は  $9.5\text{ cm}$  であるから水深  $h = 5\text{ cm}$  ( $D1$ ) の水平面での流速を模型船の周囲の平均流速であると仮定すると、計測点 ( $D2, B2$ ) の流速を基準として、点 ( $D1, B0 \sim B4$ ) の流速は、 $0.45$

$D \backslash B$	$D1$ m/sec (%)	$D2$ m/sec (%)
$B_0$	$0.425 (92)$	—
$B_1$	$0.435 (95)$	—
$B_2$	$0.440 (96)$	$0.460 (100)$
$B_3$	$0.415 (90)$	—
$B_4$	$0.430 (93)$	—
平均	$0.429 (93)$	—

$\text{m/sec}$  を例にとると左表に示すように、最大で  $10\%$  程度小さい。従って、実験で得られる流体力には、この程度の流速の誤差が伝搬する可能性があるかと推測する。

## 2-3. 流体力の測定

### 2-3-1. 測定項目

測定項目は、模型船を水槽中央から側壁に近付けた場合に船体に働く横力及び回頭モーメントである。今回の実験では船首尾方向の抵抗は不変であると仮定し、測定は行なわなかった。

### 2-3-2. 測定の条件

実験の条件は、水路幅と船幅の比 ( $b/B$ ) が 4.8, また水深と喫水の比 ( $h/d$ ) が 7.9 の値になる。流体力の測定は、横力、モーメント共に値が小さいため、模型船は満載状態のみで、また流速は実船に<sup>\*</sup>換算して約 8 ノットで行なった。

### 2-3-3. 測定方法

(2-3図)のように記号を定めて、模型船を計測装置に固定し(2-2図), Attack angle  $\beta = 0^\circ, \pm 2^\circ, \pm 4^\circ, \pm 6^\circ$  のそれぞれの場合に関して、船の中心を、 $y/B = 0.0 \sim 1.4$  の範囲で  $0.2B$  (10 cm) 毎に横移動させて、その各々の計測点での流体力を測定した。計測時には計測装置の0点の移

\* フレード則

動による誤差が生じないように極力注意を払った。

(2-4図)には計測時の流速及び流体力の信号の伝達経路を示した。

流速は検出部から電氣的信号に変換されてゲージに伝達される。デジタル信号(翼車の回転によって生じるパルス数)はゲージに表示され、目視によって読み取り記録した。アナログ信号は電圧の変化としてゲージから抵抗器を介してビジレコードに伝達され、感光紙上に記録された。このアナログ信号はデジタル信号の確認のために使用した。

流体力は三分力計(強制ヨーイング装置)の検出部からゲージ(増幅器を介してゲージ)へ電圧信号として伝達され、抵抗器を介して更にビジレコードで記録された。両装置のゲージの表示器は、模型船を移動する度に0点を調整する際、に利用した。また抵抗器はビジレコードの光点の振幅を調節するために使用した。

#### 2-3-4. 測定結果

測定の結果(2-1表)に示すような横力

とモーメントの係数を得た。但し  $C_L$  と  $C_N$  は測定値をそれぞれ次の値で無次元化した係数である。

$$C_L = \frac{(\text{横力})}{\frac{1}{2} \rho L \alpha U^2},$$

$$C_N = \frac{(\text{モーメント})}{\frac{1}{2} \rho L^2 \alpha U^2},$$

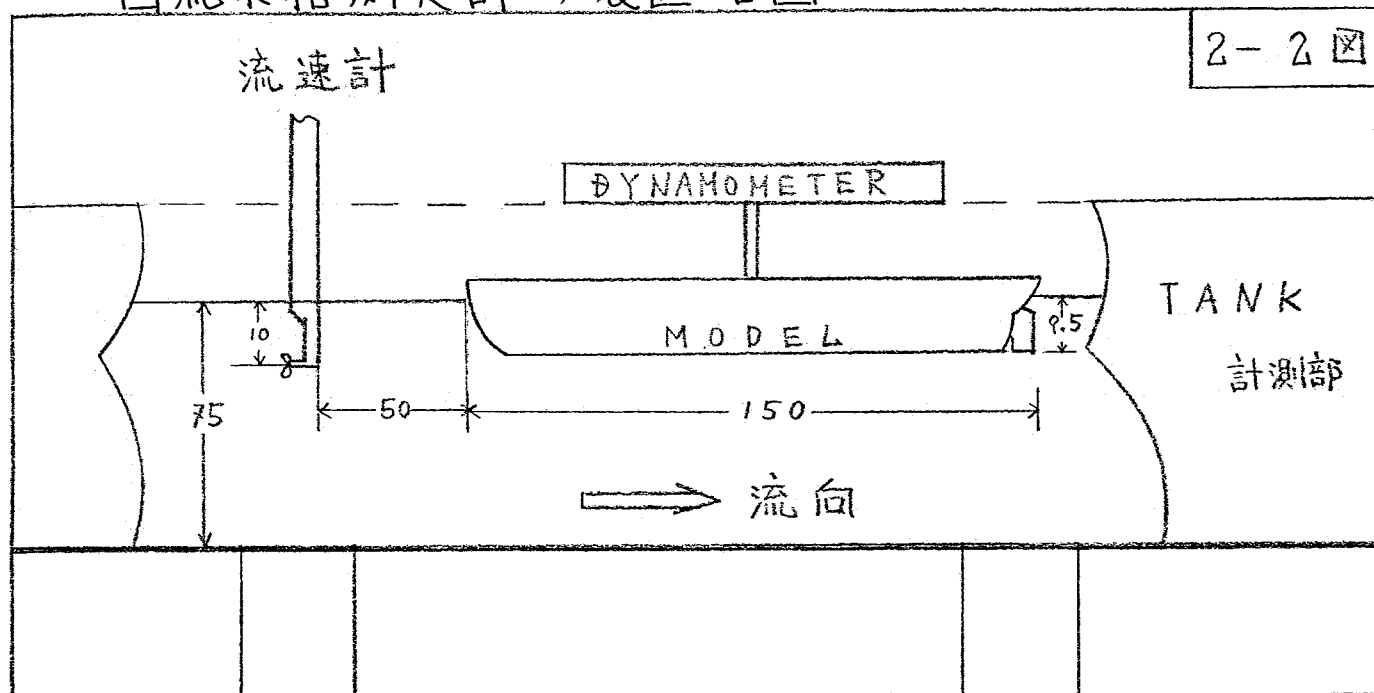
(2-1表)の  $C_L$  と  $C_N$  の値を (2-5図)及び(2-6図)にプロットした。 $\beta$  は船の迎え角である。両図から、 $\beta > 0$  の時は船首尾の流圧差が大きくなるために、 $C_L$  は増加し  $C_N$  は減少することが分る。 $\beta < 0$  の場合は船首尾の流圧差が小さいために、逆に  $C_L$  が減少し、 $C_N$  は増加している。

また、模型船の船首で生じた航走波の側壁での反射による影響や回流水槽内の乱流による影響がそのまま測定値に含まれているものと考える。

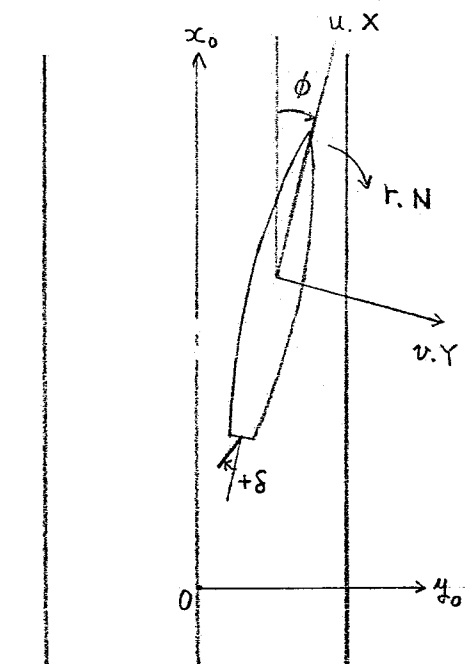
これらの DATA の最小自乗法等による近似を試みたが、上に述べた影響が消し去られてしまうので、\*各計測点間は直線補間の方法で値を求める。

\* 実験での計測点

# 回流水槽測定部の装置略図



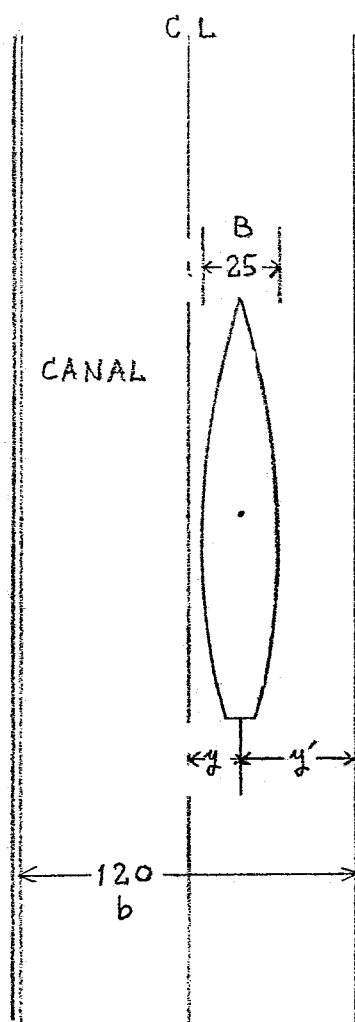
3-1図



座標系と記号

2-3図

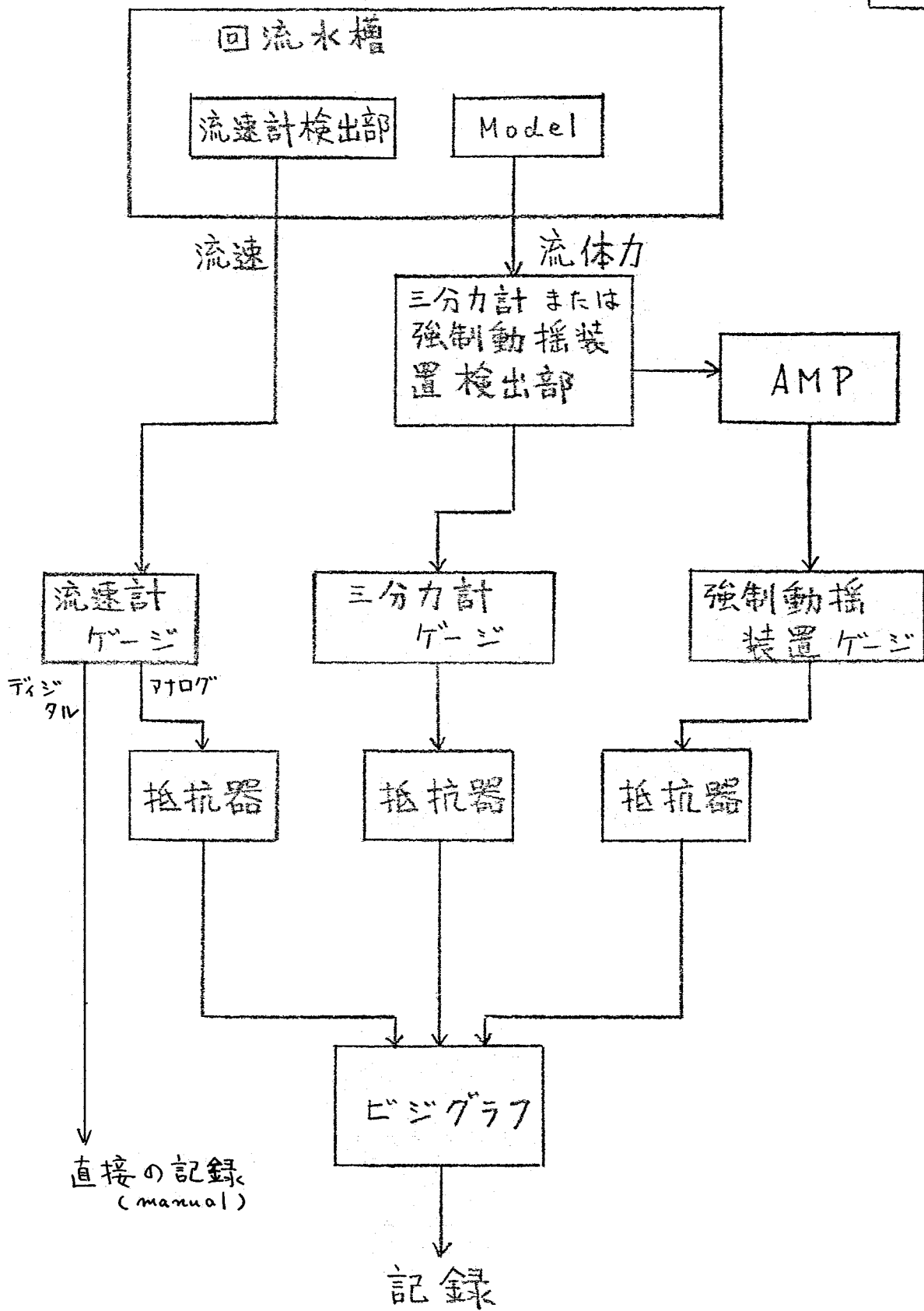
主母記号





## 信号の伝達経路

2-4 図



## 2-1 表

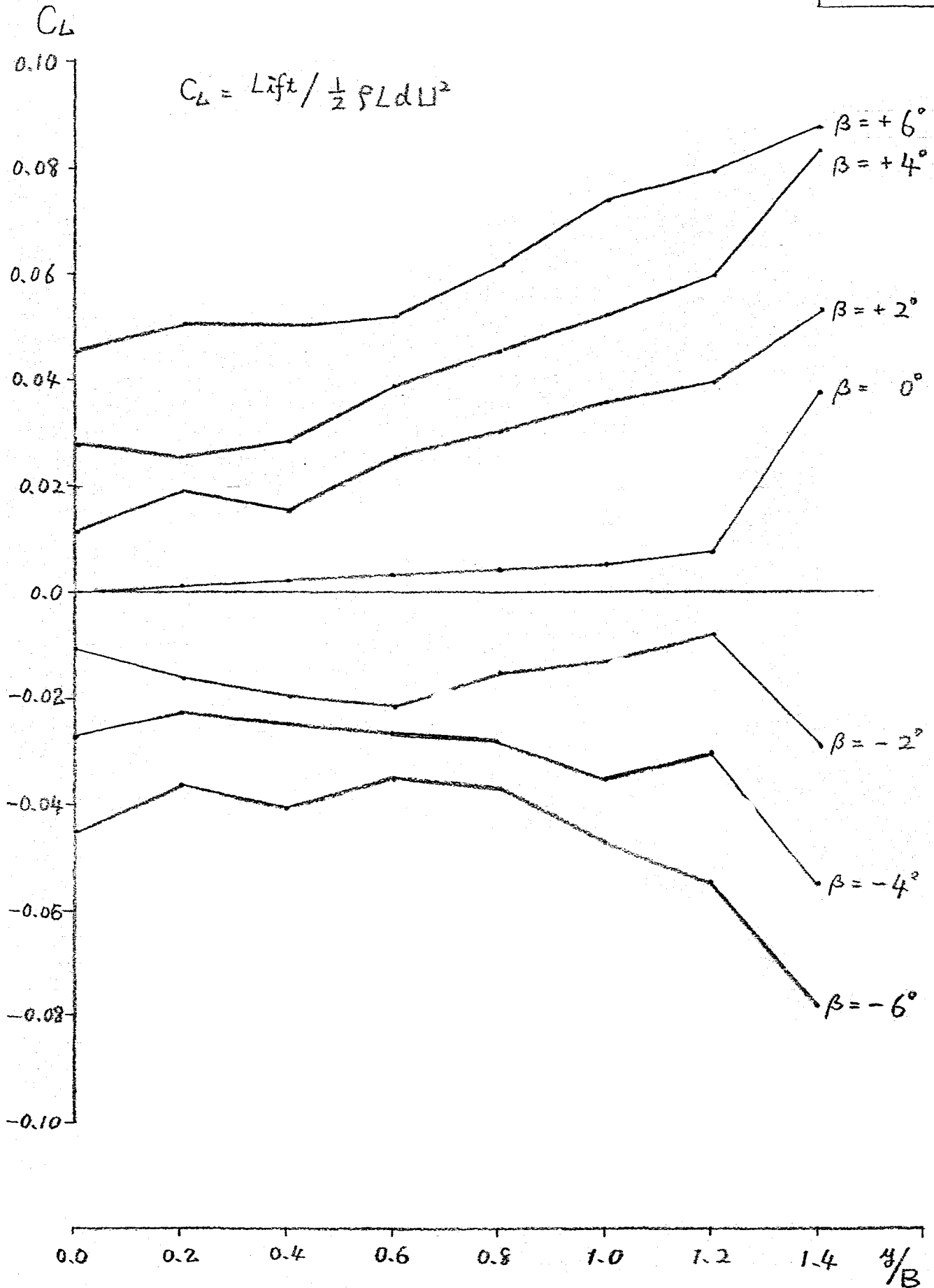
側壁による流体力

 $C_L$  (横力)

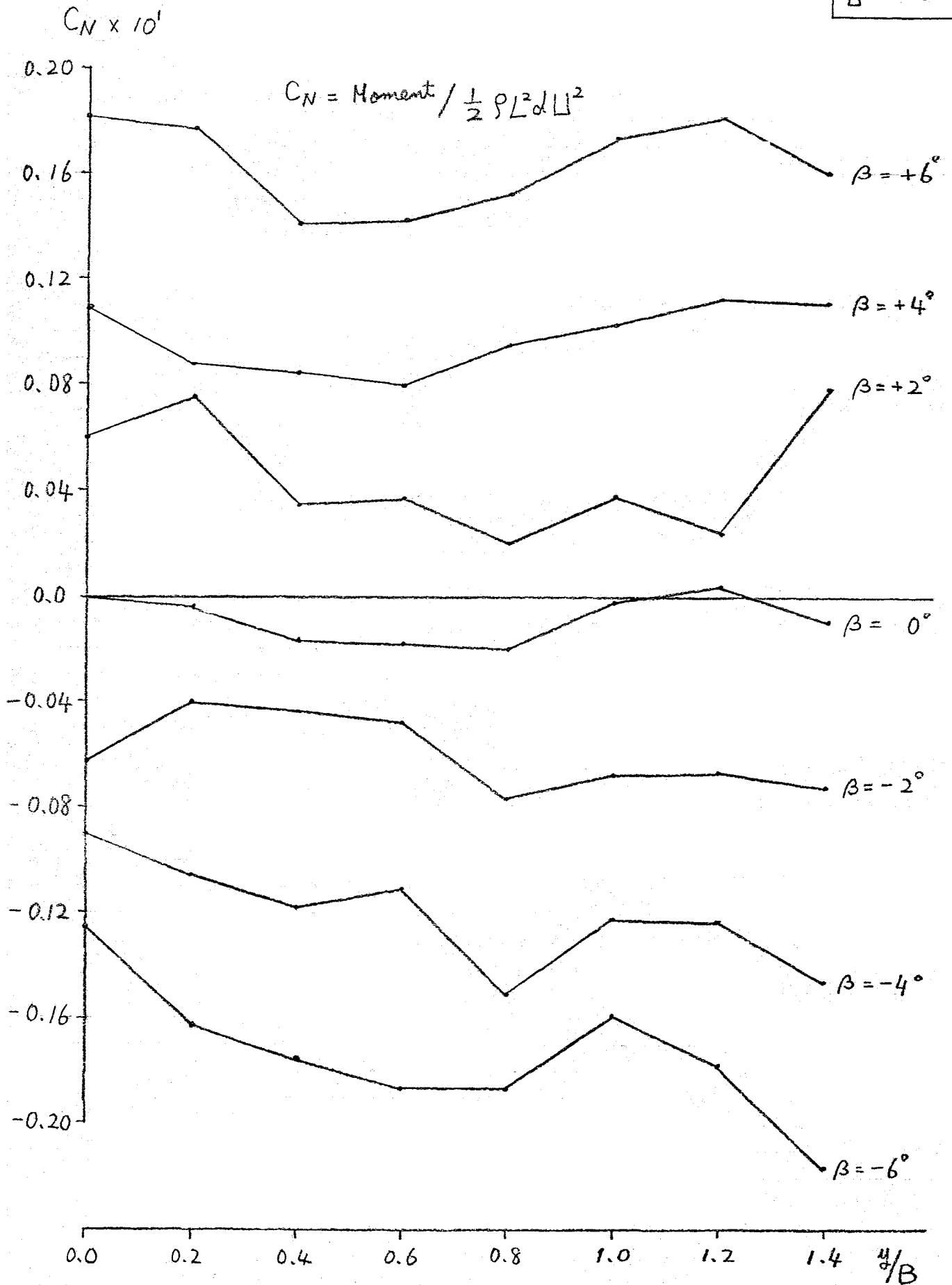
$\beta \backslash y/B$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
6	0.045	0.050	0.050	0.052	0.061	0.073	0.079	0.087
4	0.027	0.025	0.028	0.039	0.045	0.052	0.060	0.083
2	0.011	0.019	0.015	0.025	0.030	0.036	0.039	0.053
0	0.0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.007	0.037
-2	-0.011	-0.017	-0.019	-0.021	-0.015	-0.013	-0.008	-0.028
-4	-0.026	-0.023	-0.024	-0.027	-0.028	-0.036	-0.030	-0.055
-6	-0.044	-0.037	-0.041	-0.035	-0.037	-0.047	-0.054	-0.078

 $C_N$  (正-負)  $\times 10$ 

$\beta \backslash y/B$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
6	0.181	0.177	0.141	0.142	0.153	0.174	0.182	0.161
4	0.109	0.087	0.084	0.080	0.095	0.102	0.112	0.111
2	0.060	0.074	0.034	0.037	0.020	0.037	0.024	0.079
0	0.0	-0.004	-0.016	-0.018	-0.022	-0.002	0.004	-0.010
-2	-0.062	-0.041	-0.044	-0.048	-0.076	-0.067	-0.067	-0.072
-4	-0.090	-0.106	-0.118	-0.110	-0.151	-0.123	-0.122	-0.146
-6	-0.126	-0.163	-0.176	-0.186	-0.187	-0.179	-0.177	-0.216



2-6 ☒



### 3 側壁影響を受ける船の運動の軌跡

#### 3-1 運動方程式

(3-1図)に示した、水平面内の座標軸に対しての船の運動は次の方程式で表わされる。

$$\begin{cases} m(\ddot{u} - r\dot{v}) = X & \textcircled{1} \\ m(\ddot{v} + r\dot{u}) = Y & \textcircled{2} \\ I_z \dot{r} = N & \textcircled{3} \end{cases}$$

①～③式の右辺の外力  $X, Y, N$  はそれぞれ

$$\begin{cases} * X = 0 & \textcircled{4} \\ Y = Y_{\dot{u}} \dot{u} + Y_{\dot{r}} \dot{r} + Y_v v + Y_r r \\ \quad + Y_{\delta} \delta + Y_w & \textcircled{5} \\ N = N_{\dot{u}} \dot{u} + N_{\dot{r}} \dot{r} + N_v v + N_r r \\ \quad + N_{\delta} \delta + N_w & \textcircled{6} \end{cases}$$

と表わされるから、④～⑥式を各々①～③式へ代入すると、加速度  $\ddot{u}, \ddot{v}, \dot{r}$  に関する次の3式を得る。

$$\begin{cases} \ddot{u} = r\dot{v} & \textcircled{7} \\ \ddot{v} = \frac{1}{m - Y_{\dot{u}}} \left\{ Y_v v + (Y_r - m\dot{u})r \right. \\ \quad \left. + Y_{\delta} \delta + Y_w \right\} & \textcircled{8} \\ \dot{r} = \frac{1}{I_z - N_{\dot{r}}} \left\{ N_v v + N_r r \right. \\ \quad \left. + N_{\delta} \delta + N_w \right\} & \textcircled{9} \end{cases}$$

但し  $Y_{\dot{r}}, N_{\dot{u}}$  の項については無視した。

詳しい展開は Appendix - II に示してある。

\* Neglect の意。

## 3-2 船の運動の計算

### 3-2-1 計算法

前述の⑦～⑨式から Euler 法によって船の位置と方位を求めることができる。

まず、ある時間  $t$  における船の速度と角速度  $u, v, r$  はそれぞれ、

$$\begin{cases} u(t) = u(0) + \sum \dot{u}(\tau) \Delta t & (10) \end{cases}$$

$$\begin{cases} v(t) = v(0) + \sum \dot{v}(\tau) \Delta t & (11) \end{cases}$$

$$\begin{cases} r(t) = r(0) + \sum \dot{r}(\tau) \Delta t & (12) \end{cases}$$

の3式によって表わされる。但し

$$\sum \equiv \sum_{\tau=0}^{t-\Delta t}$$

とする。船の位置と方位は座標軸を船体重心から、 $X-Y$ 平面の原点に変換して、(相対座標から<sup>\*</sup>絶対座標へ)

$$\begin{cases} x_0(t) = x_0(0) + \sum [u(\tau) \cos \phi(\tau) - v(\tau) \sin \phi(\tau)] \Delta t & (13) \end{cases}$$

$$\begin{cases} y_0(t) = y_0(0) + \sum [u(\tau) \sin \phi(\tau) + v(\tau) \cos \phi(\tau)] \Delta t & (14) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \phi(t) = \phi(0) + \sum r(\tau) \Delta t & (15) \end{cases}$$

と表わされる。

⑩～⑮式によって船体の運動の軌跡を計算した。

計算プログラムは Appendix-Ⅲに載せた。

\* 空間に固定の座標系

### 3-2-2 計算精度 及び 諸数値

計算は単精度で行なったが、繰り返し計算による誤差の集積を極力防いだため、 $CM$ の単位まで計算の誤差はない。計算には東京商船大学の電子計算機 FACOM-28S を使用した。計算プログラムは参考文献に載せてある。

船の寸法及び微係数は(3-1表)に示した。微係数は Series 60 model から実験に使用した模型船と類似船型の数値を選び、その値は制限水路内でも不変と仮定して計算に使用した。

計算に使用した船の数学モデルは針路安定な船である。

側壁によって船が受ける流体力は、実験で測定した結果をそのまま使用した。但し、計測点間の流体力の値は、 $\beta$  と  $\psi/\beta$  を基にして、直線近似によって補間した値を用いた。

計算に用いた実船の寸法

$$L = 300.0 \text{ (m)}$$

$$B = 50.0 \text{ (m)}$$

$$d = 19.0 \text{ (m)}$$

微係数 (Deri's -1)

$\frac{m - Y_{\dot{\psi}}}{\frac{1}{2} \rho L^3} = 0.0196$	$\frac{I_{\dot{\psi}} - N_{\dot{\psi}}}{\frac{1}{2} \rho L^5} = 0.0013$
$\frac{Y_{\dot{w}}}{\frac{1}{2} \rho L^2 U} = -0.0165$	$\frac{N_{\dot{w}}}{\frac{1}{2} \rho L^3 U} = -0.0071$
$\frac{Y_{\dot{r}} - m \dot{U}}{\frac{1}{2} \rho L^3 U} = -0.0049$	$\frac{N_{\dot{r}}}{\frac{1}{2} \rho L^4 U} = -0.0047$
$\frac{Y_{\dot{\delta}}}{\frac{1}{2} \rho L^2 U^2} = 0.0032$	$\frac{N_{\dot{\delta}}}{\frac{1}{2} \rho L^3 U^2} = -0.0015$
$\frac{Y_{\dot{w}}}{\frac{1}{2} \rho L d U^2} = C_L$	$\frac{N_{\dot{w}}}{\frac{1}{2} \rho L^2 d U^2} = C_N$

海水の密度

$$\rho = 104.5 \text{ (kg} \cdot \text{Sec}^2 / \text{m}^4 \text{)}$$



### 3-3 船の運動の軌跡

#### 3-3-1 操舵を行わない場合

舵角  $\delta = 0$  の条件で、側壁影響を受けて船が水路内をどのように運動するかを調べた。但し水路は  $b/B = 4.8$ ,  $h/d = 7.9$  とし、実験と同じ条件とした。船の最初 ( $t=0$ ) の進路は水路の方向と平行 ( $\phi = 0^\circ$ ) とし、水路中央から  $B/5$  毎の距離間隔をとって、6 ケースに分けて計算を行った。

(3-2 図) に、6 ケースの計算結果を X-Y Plotter で処理した運動軌跡を示した。操舵なしの場合には、\*初期位置  $y = 0.2 \sim 1.2B$  のいずれの場合も、船の運動は Far Wall 方向へ発散している。(3-2 図) には縦方向の距離を  $0 \leq x_0 \leq 6L$  (1800m) の範囲で示したが、 $x_0$  を更に長く取って船の運動を計算した例でも、Yawing 運動は収束せず、Sway 幅が大きくなって、やがて船は左右、いずれかの側壁まで達してしまう。

また(3-2 図) の  $y/B = 1.0$  及び  $1.2$  の 2 例では、Far Wall 方向への回頭モーメントを受けると同時に、船体の中心が Near

\* または初期針路

Wall 方向へ吸収されていることが分る。特に最初の位置を  $y/B = 1.2$  に取った計算例では、船体中心の Near Wall 方向への吸引作用が大きく、また同時に反対方向への回頭も急激である。この計算例の場合に、Near Wall への<sup>\*</sup>接近に対抗するために正(Port)の舵角を取ると、船の回頭運動を更に助長する結果になる。

(3-3-1~12図)には、 $y/B = 0.2 \sim 1.2$  の各々の計算例に関し、横変位量( $y$ )、偏角( $\phi$ )、横移動の速度( $v$ )、角速度( $r$ )の変化を横軸に時間をとって示してある。

また(3-4図)には、

- ①  $y/x$  : 最大横変位量 / 縦方向の変位量
  - ②  $y/t$  :        - " -        / 時間
  - ③ 距離 2L だけ進む間の横変位量
  - ④     "     4L        "        "        "
  - ⑤ 偏角 / 時間
  - ⑥ 舵角と、その舵角によって得られる速度  $v$ 、または角速度  $r$  との関係、
- をそれぞれ示してある。

この計算結果では、船の速力を変えて  
<sup>\*</sup> Near Wall から離脱するために、

も、横変位量を縦方向の運動距離で除した無次元値は殆ど等しくなる。すなわち操船する場合の時間的余裕が変化するのみであるが、実際には側壁で反射した自船の航走波の船体への着力点が速力によって異なる等の理由によりこの値も変わるものと考ええる。

しかし、ここでは速力は、船の側壁影響による運動には影響しないものとして解析を進める。

(3-2図)に示した船の運動は、次の3つの場合に分けて、それぞれの運動の特徴を述べることができる。

- $y/B = 0.2$  及び  $0.4$  の場合 (3-3-1~4図及び 3-4図) ... Near Wall から流体力を受けて Far Wall 方向に運動するが、水路の左側に船が入ると直ちに、左側の側壁から反対方向の流体力を受けるために、操舵を行わねばくとも、水路の右側へ戻る。しかし、この Yawing 運動は発散運動で、水路の左右いずれかの側壁に、やがて達してしまう。  $x_0$  が  $1 \sim 6L$  の範囲での最大

横変位量は、 $y/B = 0.2$  の場合で約  $30\text{ m}$  ( $0.6B$ )、 $y/B = 0.4$  の場合が約  $70\text{ m}$  ( $1.4B$ ) 程度になる。

○  $y/B = 0.6 \sim 0.8$  の場合 (3-3-5~8図 及び 3-4図) ... この範囲で船の運動を開始させると、運動の方向は、 $y/B = 0.2 \sim 0.4$  の場合と同じであるが、水路の中央に達するまでの運動の慣性力が大きいため、水路左側へ出て反対方向への流体力を受けても、そのまま左側の側壁に達してしまう。3-3-6図、3-3-8図から分るように、角速度  $\gamma$  が正に変わるまでの所要時間は、船の運動開始位置 ( $y$ ) が水路中央から離れたにも拘らず、 $y/B = 0.2, 0.4$  の場合と比較しても大差がない。即ち水路の中央に達するまでの時間的余裕が少なくなることが分る。

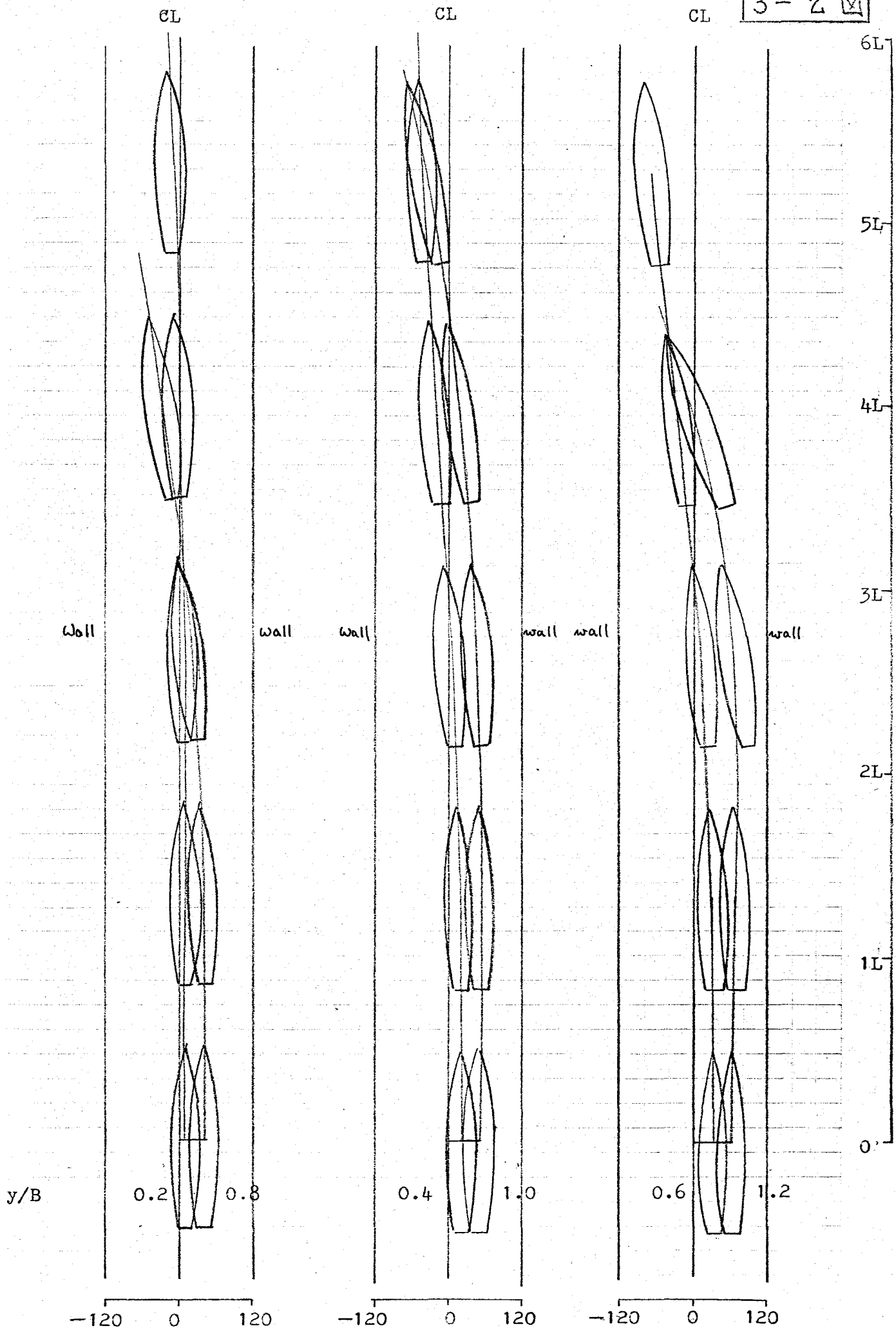
○  $y/B = 1.0 \sim 1.2$  の場合 (3-3-9~12図, 3-4図) この計算例でも運動の方向は、前の例と同じであるが、船の運動は更に不安定になる。特徴的な相違としては、吸引力の増大が挙げられる。即ち側壁による反発回頭モーメントが増大しているにも拘らず、船体に働く吸引力によって船が暫くの間 Near

Wall 方向へ引きつけられるため、船尾が大きく振り出される格好になる。特に  $y/B = 1.2$  の計算例で、その傾向が著しい(3-2図)。

$y/B = 1.0$  及び  $1.2$  の場合の船の運動に対抗するためには、負の舵角(3-1図参照)を相当大きく与える必要がある。また、側壁から早期に離脱するために、正の舵角を与えることは先にも述べた様に、船の回頭力を増すことになる。これらの事は操船者の心理面からも、 $y/B = 1.0 \sim 1.2$  の範囲での船の運動が不安定であると言うべきものであることを示している。

以上に述べた船の、 $y/B = 4.8$  の条件の水路内での運動から、この水路での可航域がおよそ  $y/B = \pm 0.8$  までの範囲であることが推測できる。

3-2 ☒

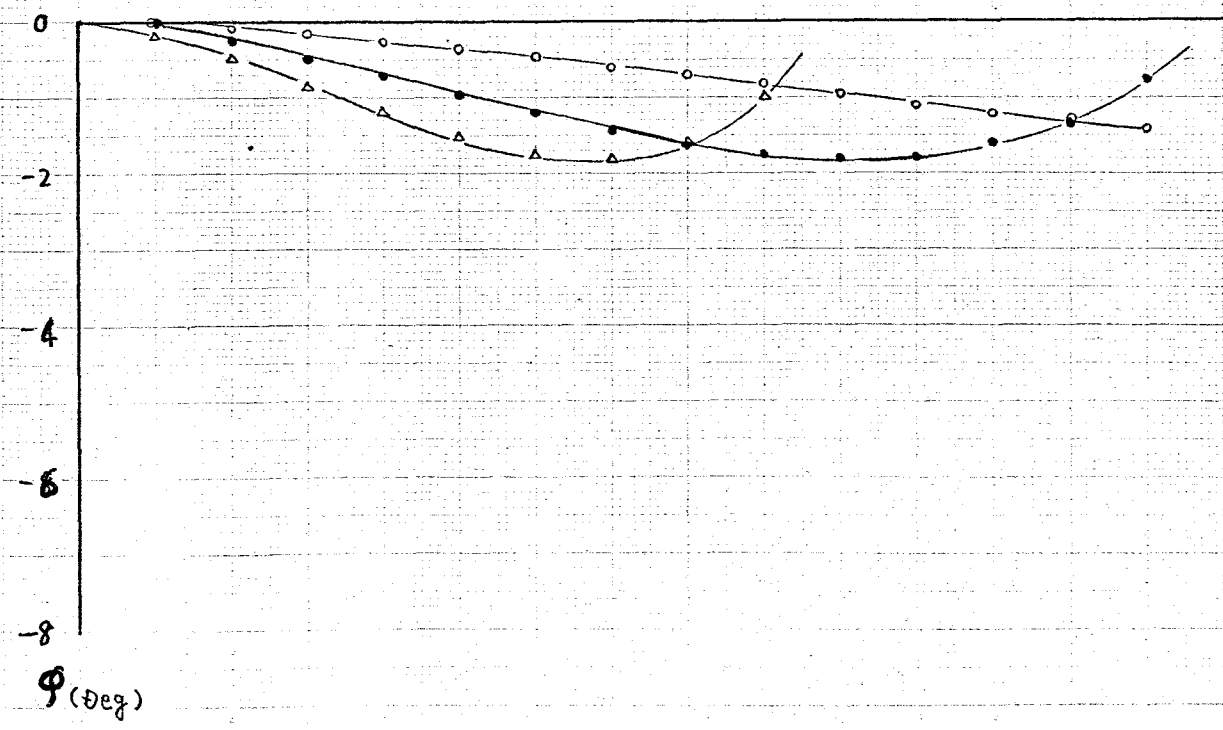
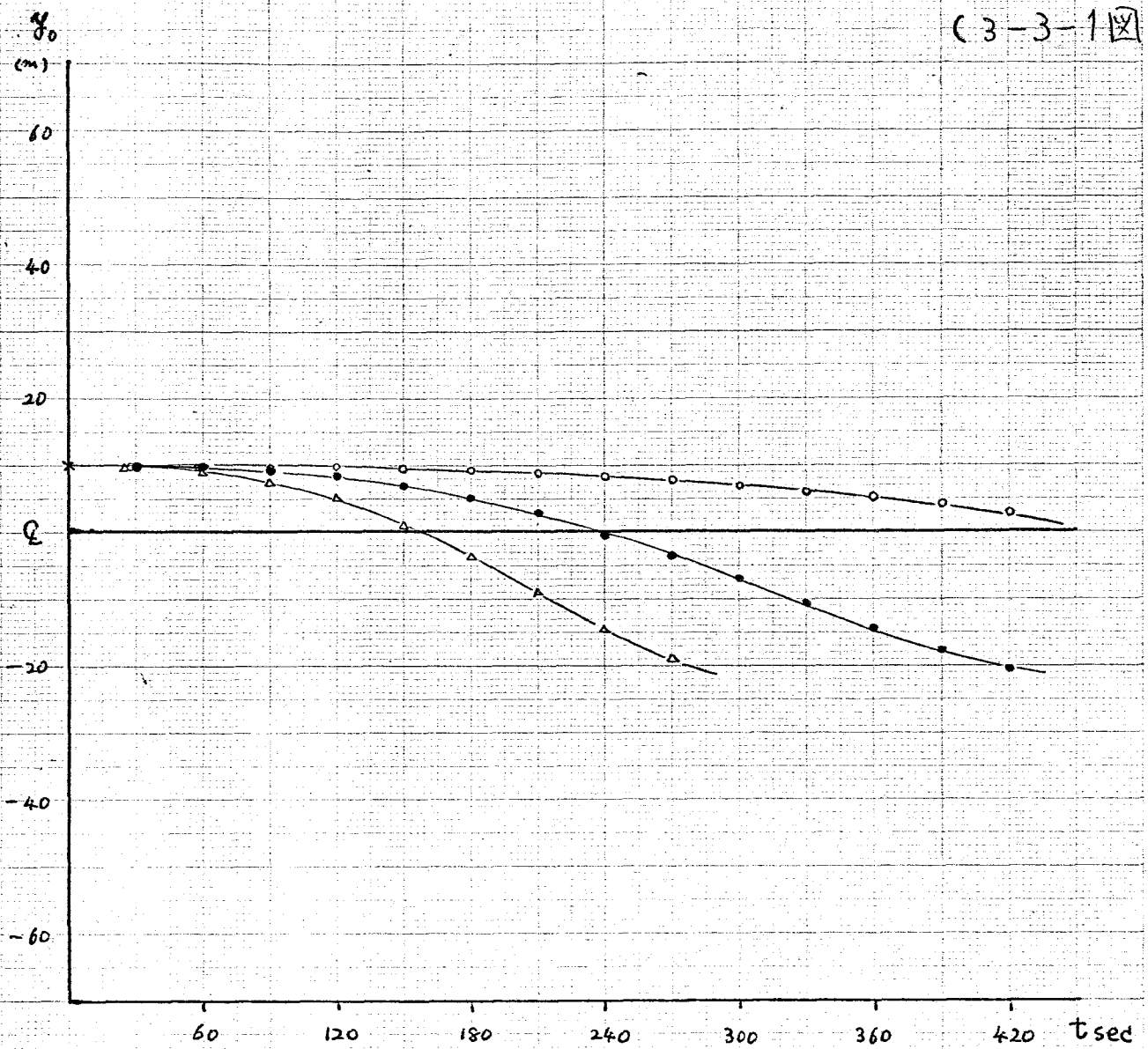


Deriv 1  
 $\gamma_B = 0.2$

4 kt — ○ —  
 8 kt — ● —  
 12 kt — △ —

28

(3-3-1X)



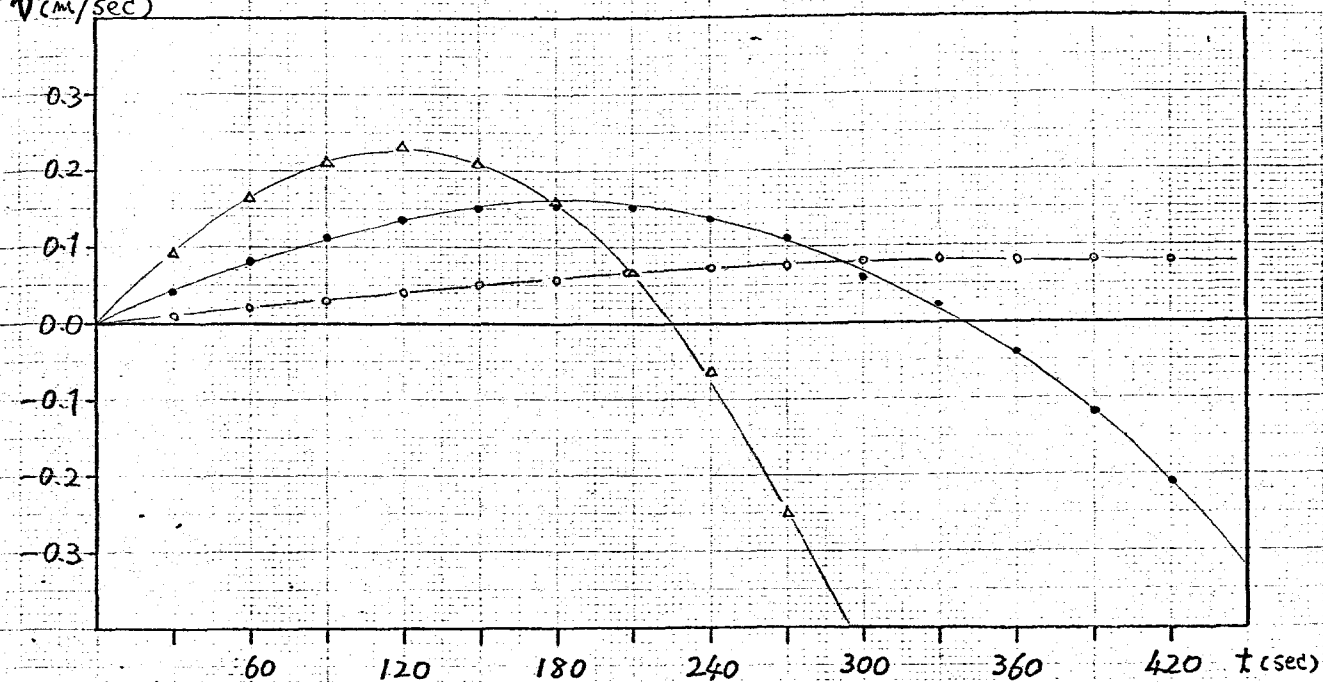
Deris 1

$Y/B = 0.2$

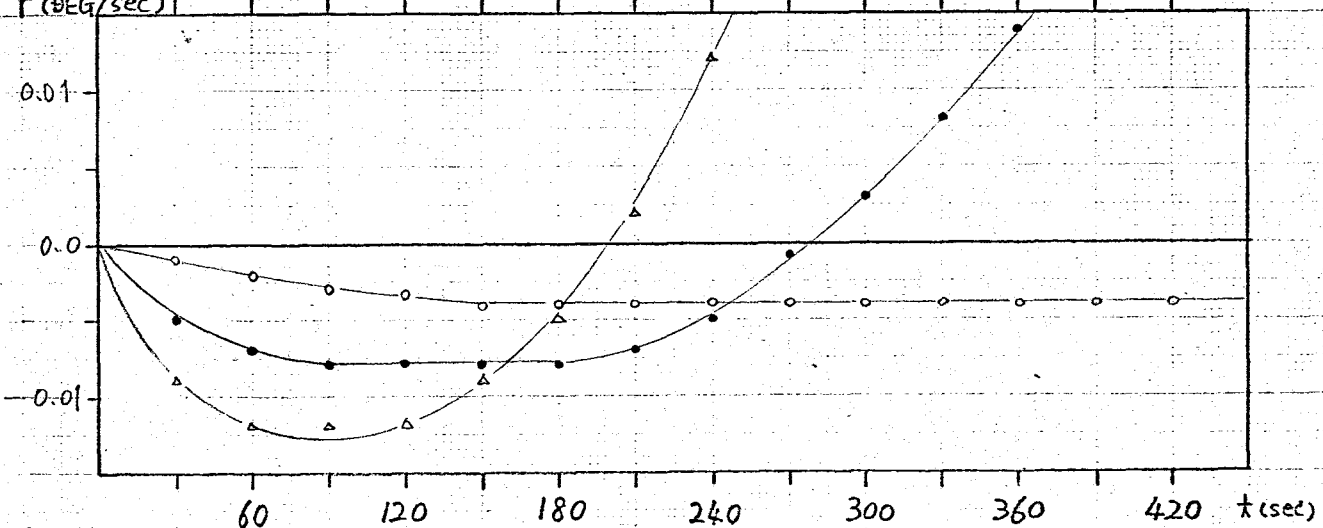
4kt — o — 29  
8kt — • —  
12kt — Δ —

(3-3-2 X)

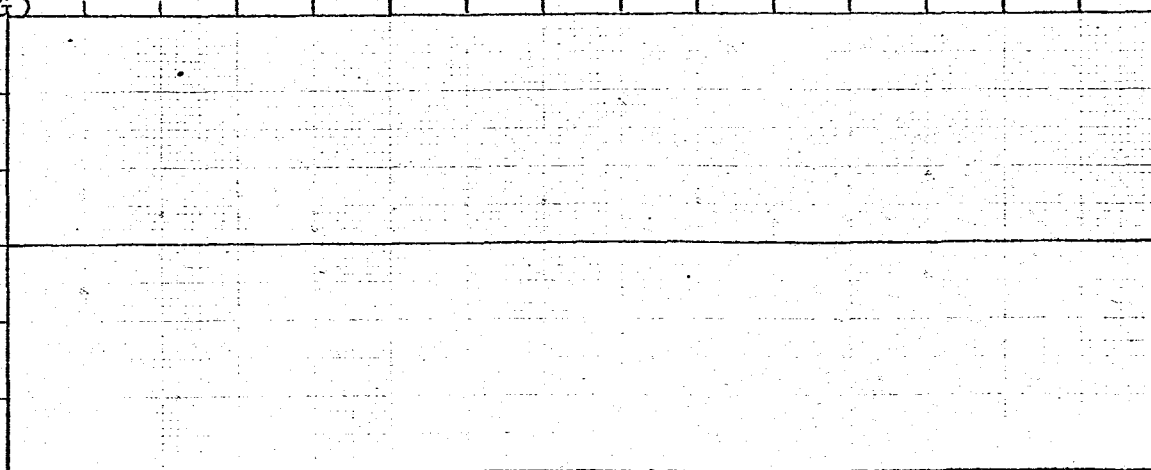
$V(m/sec)$



$\gamma (DEG/sec)$



$\delta (DEG)$



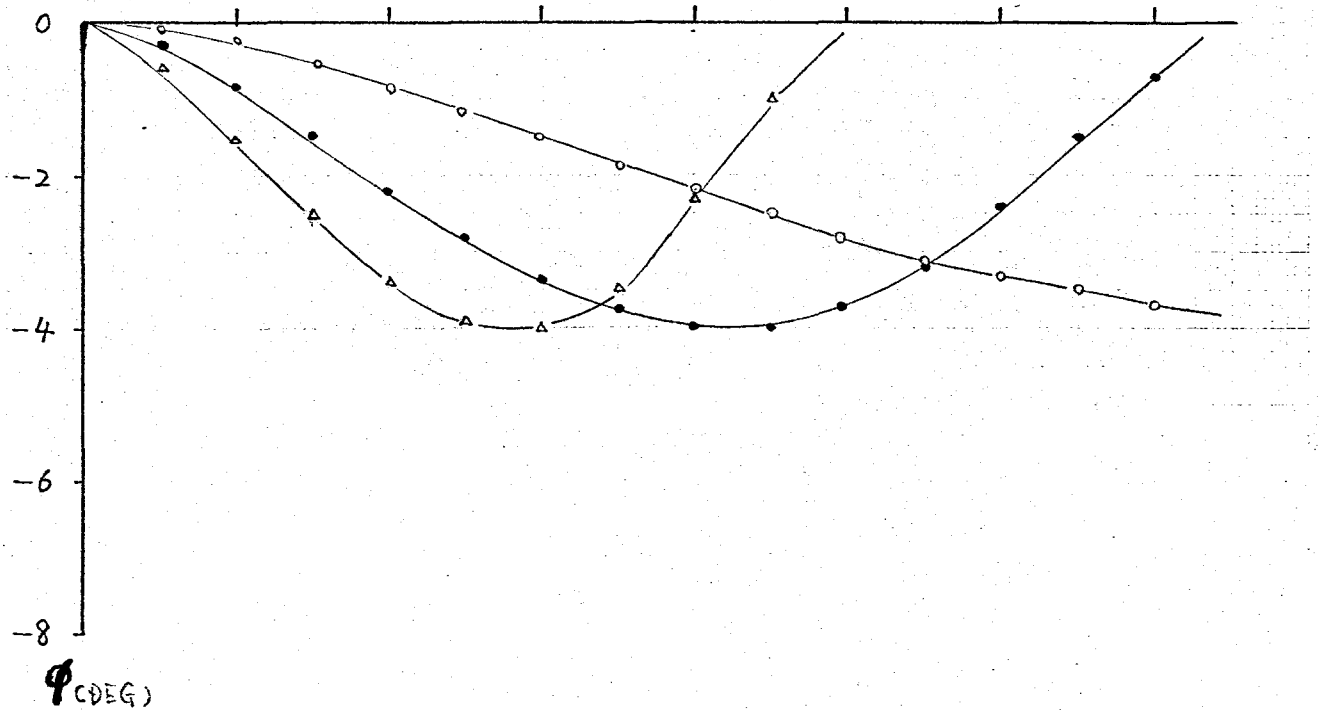
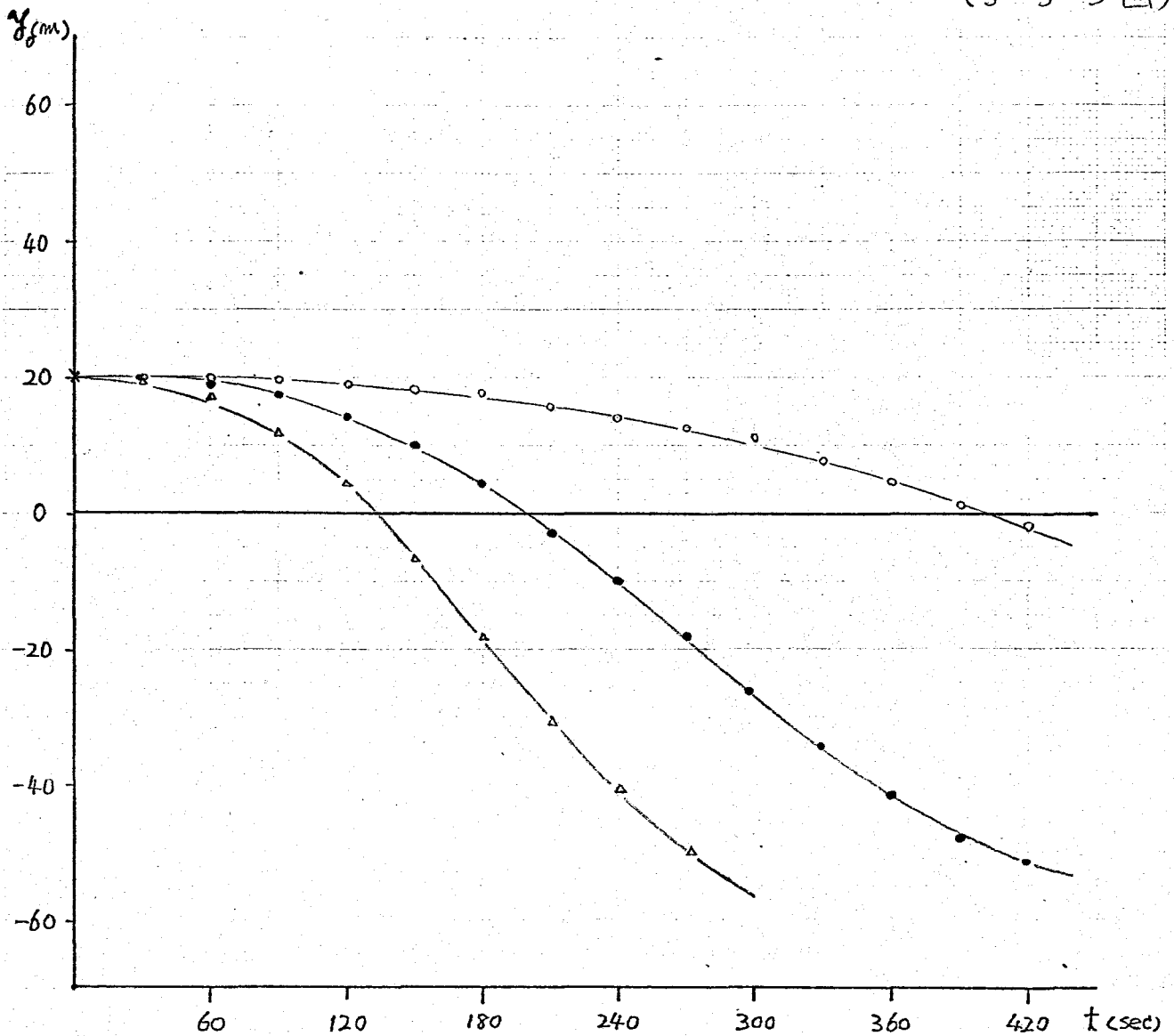


Deri's 1

$Y/B = 0.4$

4 kl — ○ — 30  
8 kl — ● —  
12 kl — △ —

(3-3-3 □)



Deris 1

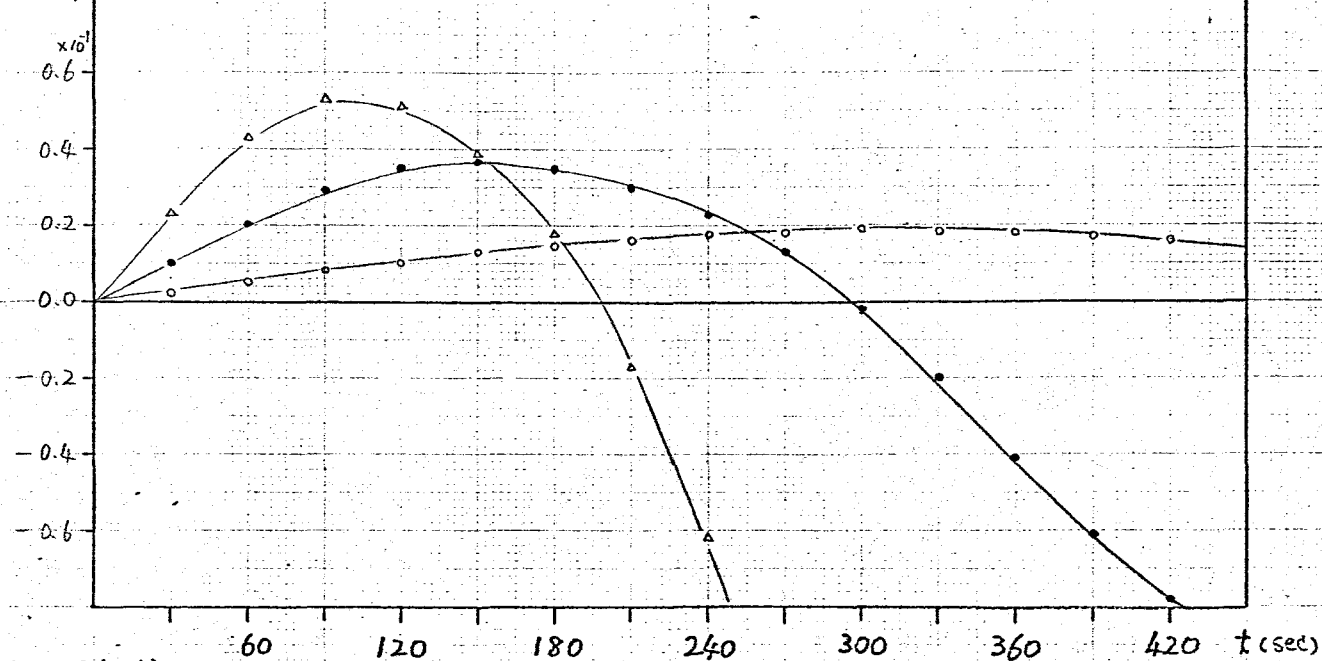
$Y/B = 0.4$

31

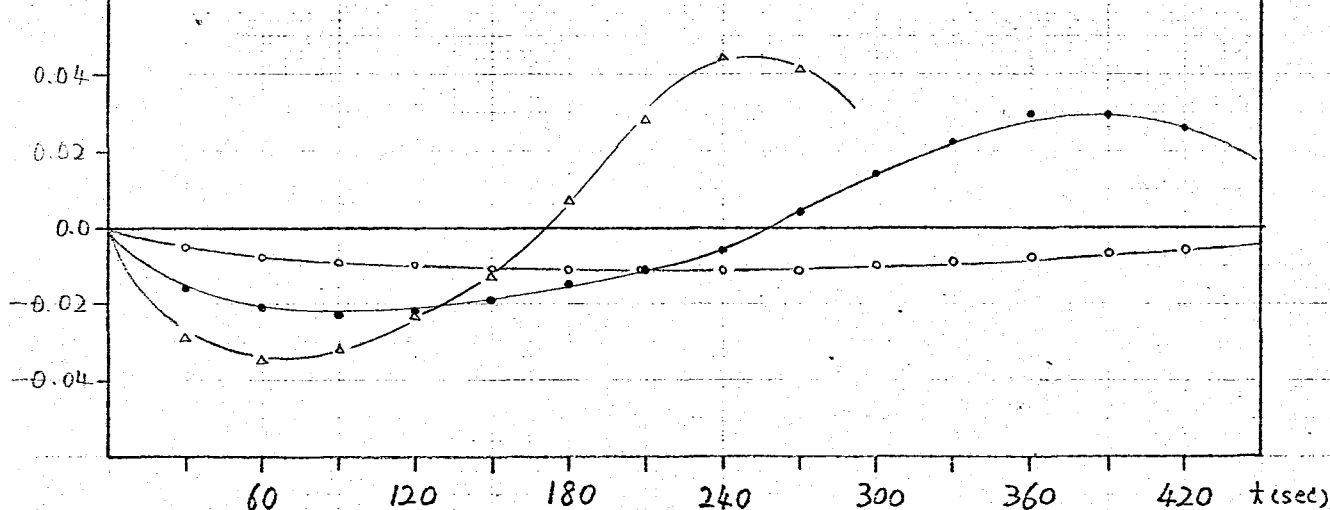
$4\kappa t$  — o —  
 $8\kappa t$  — • —  
 $12\kappa t$  — Δ —

(3-3-4  $\boxtimes$ )

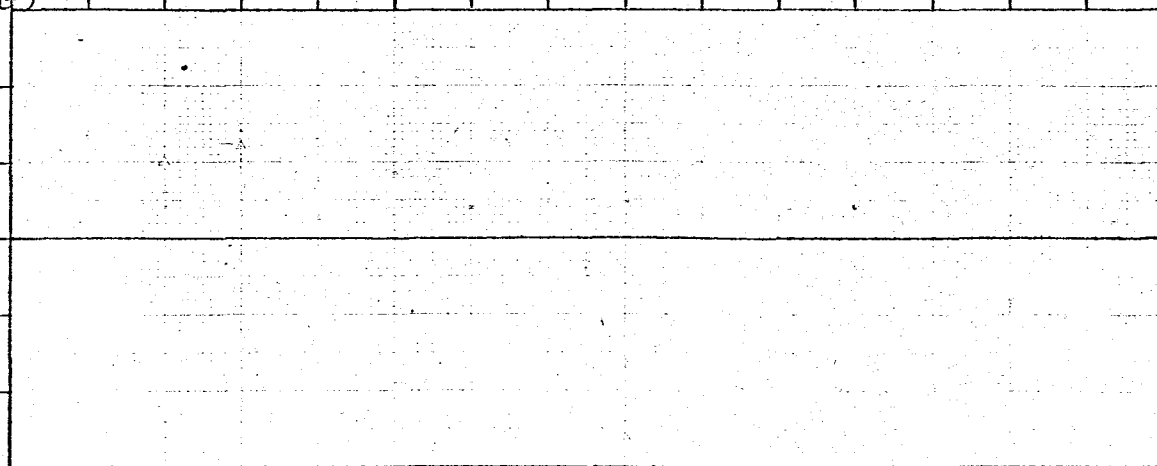
$v$  (cm/sec)



$\gamma$  (DEG/sec)



$\delta$  (DEG)



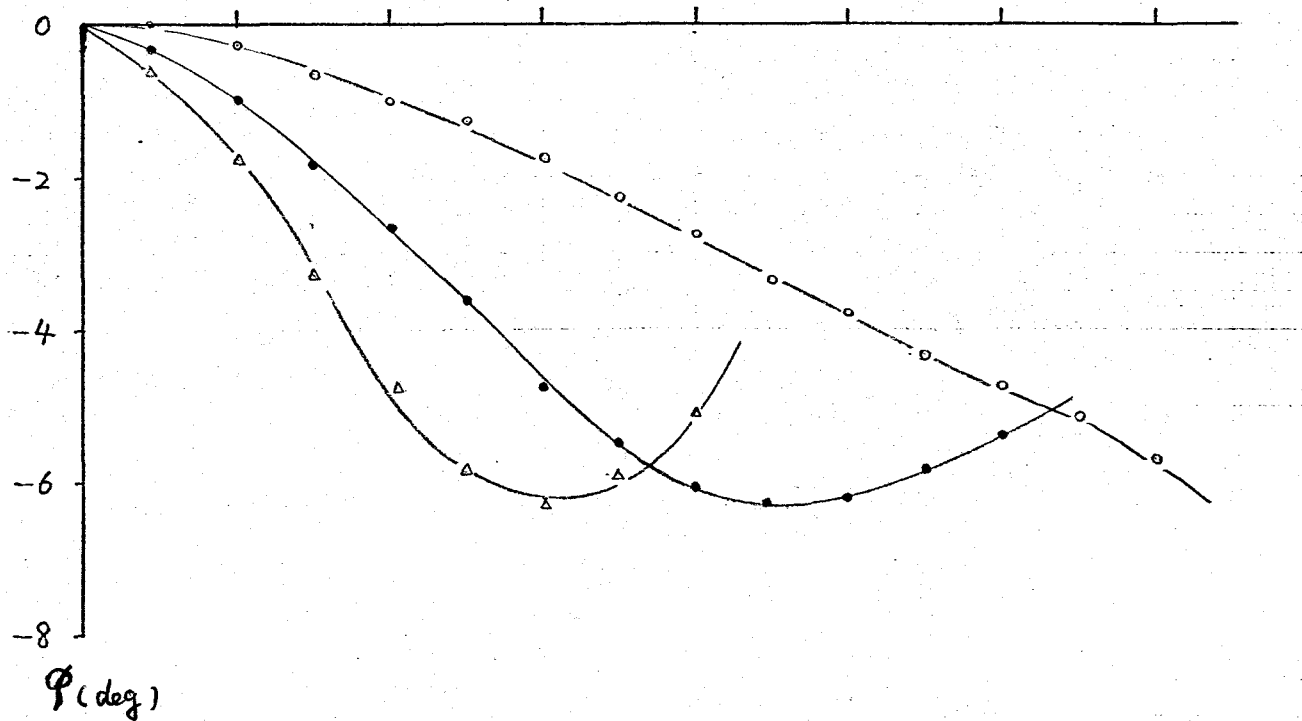
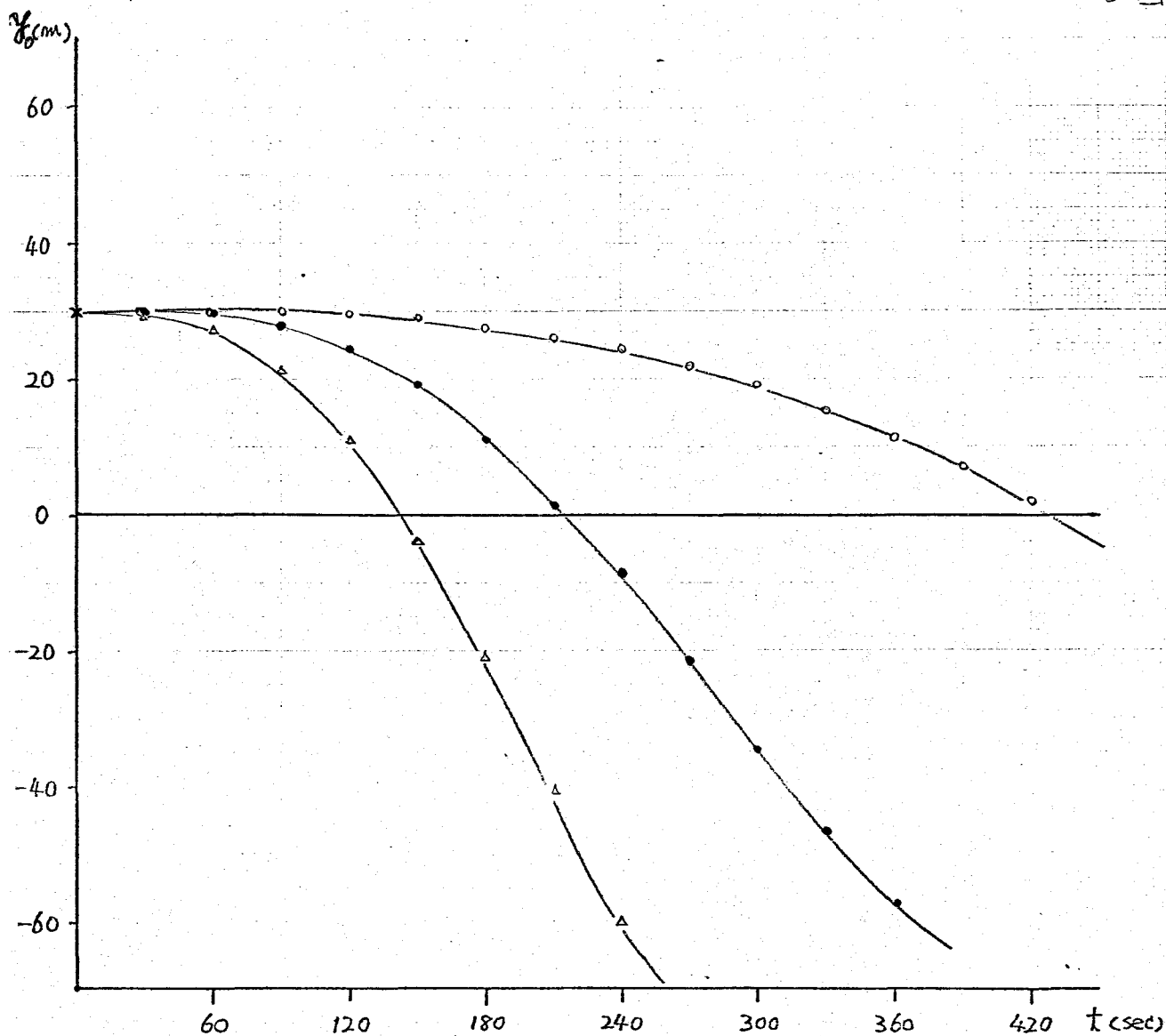
Deri's 1

$$\gamma/B = 0.6$$

4 k<sub>t</sub> —○—  
8 k<sub>t</sub> —●—  
12 k<sub>t</sub> —△—

32

(3-3-5  $\square$ )



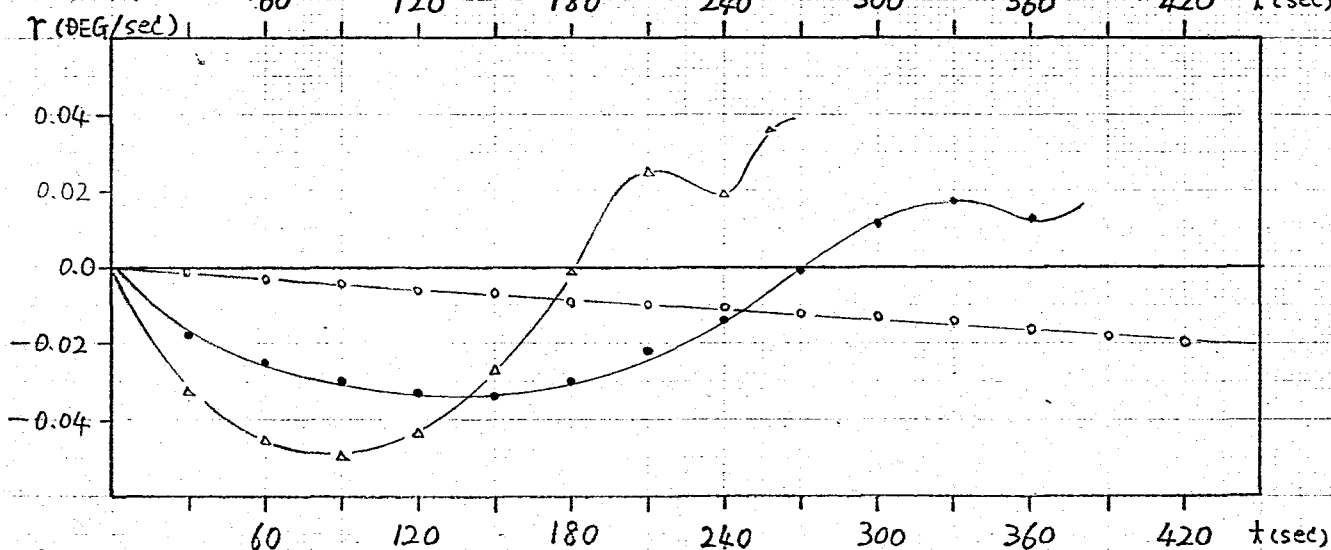
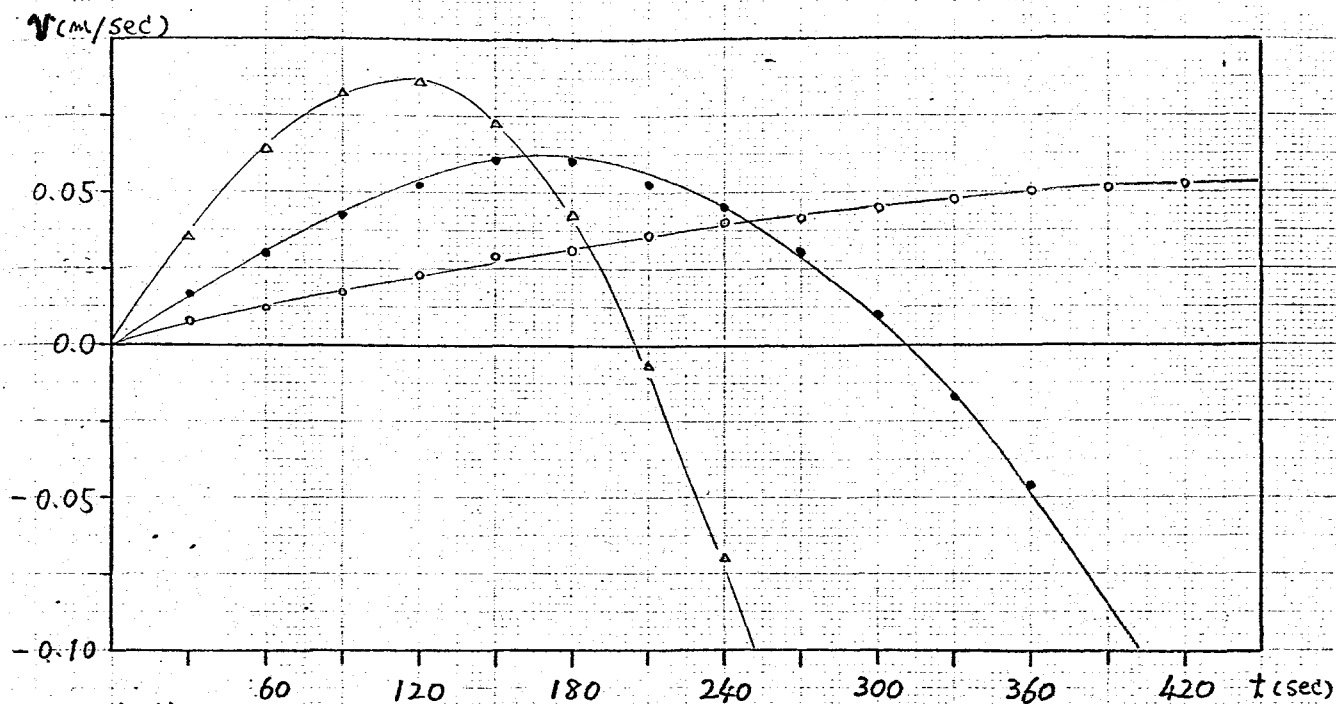
VERIS 1

$Y/B = 0.6$

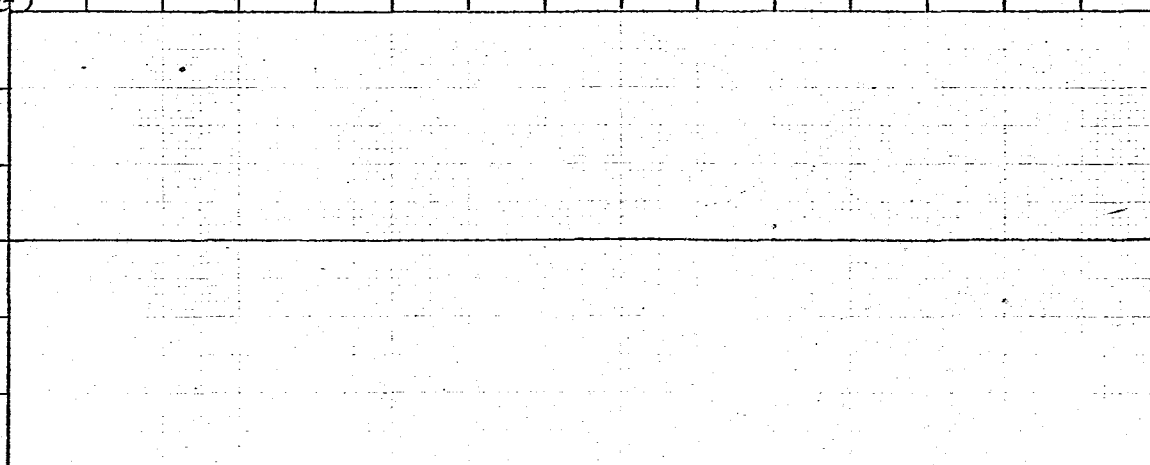
4k<sub>t</sub> — ○ —  
8k<sub>t</sub> — ● —  
12k<sub>t</sub> — △ —

33

(3-3-6 ☒)



$\delta$  (DEG)



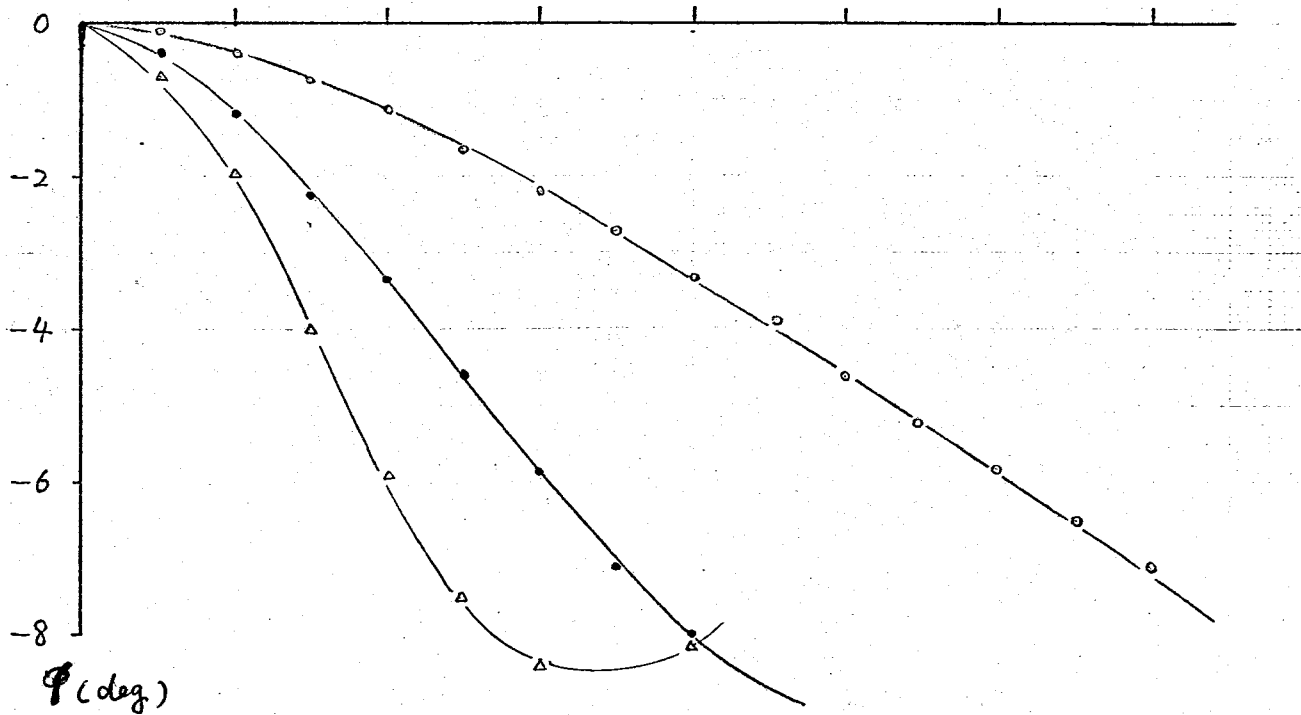
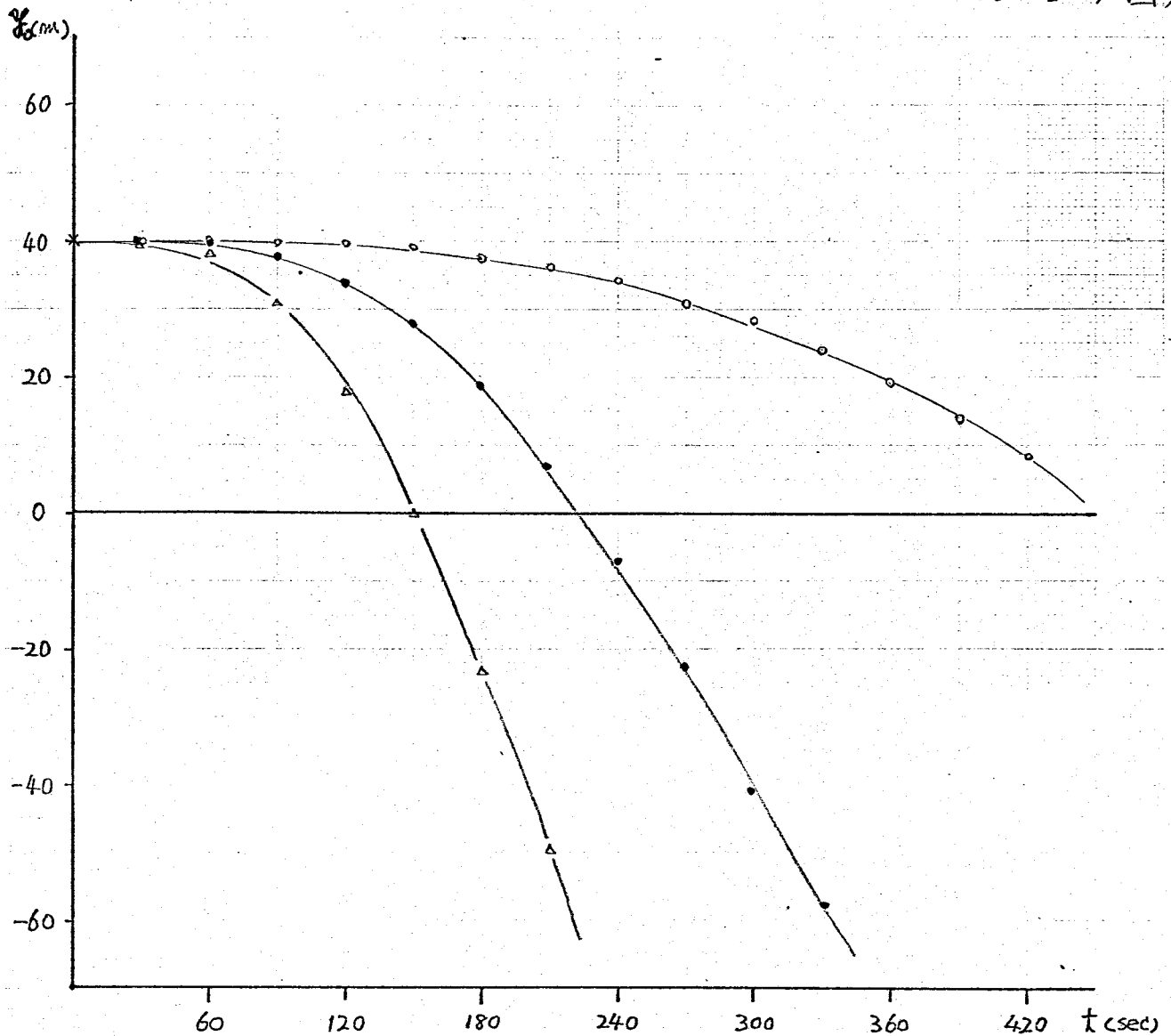
Deri's 1

$$\gamma/B = 0.8$$

4 k<sub>t</sub> —○—  
8 k<sub>t</sub> —●—  
12 k<sub>t</sub> —△—

34

(3-3-7 图)



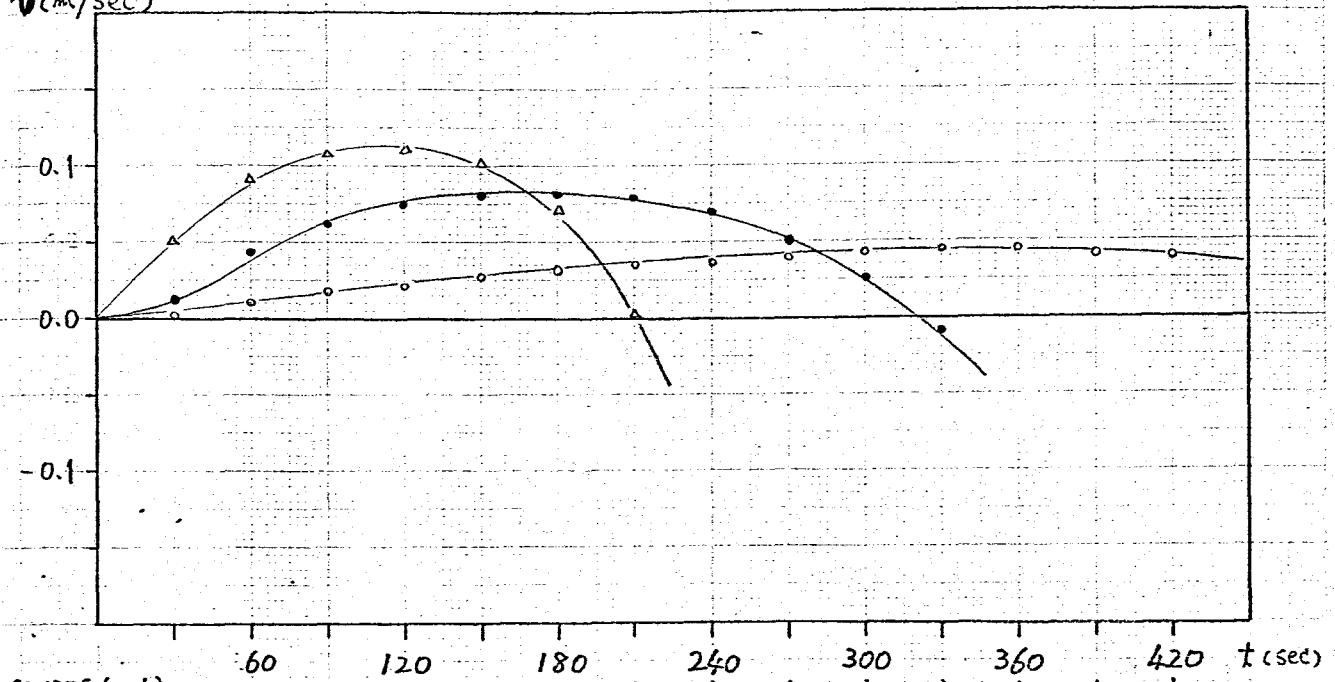
Deris 1

$Y/B = 0.8$

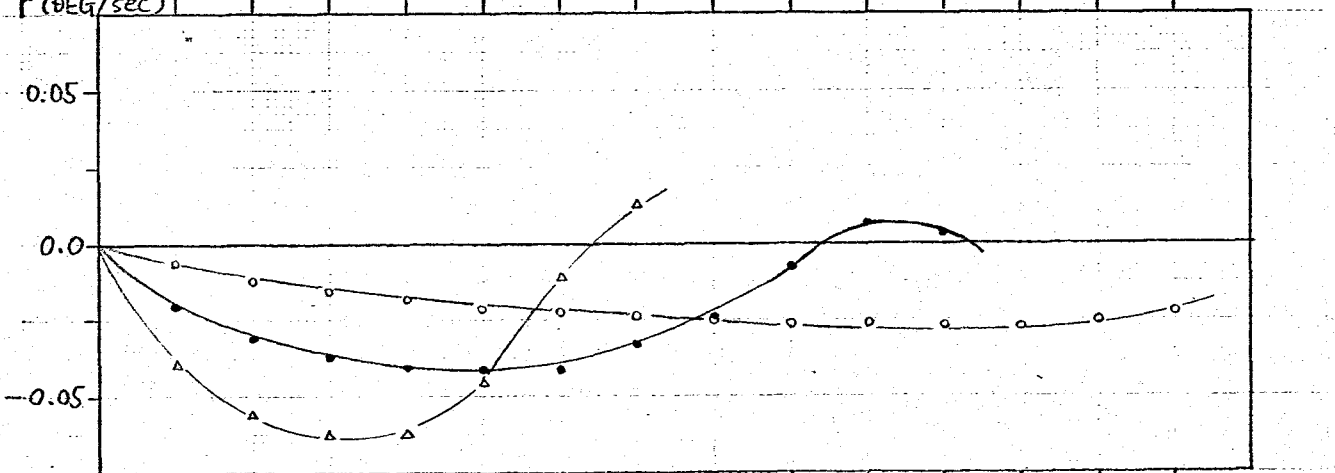
4kt — o — 35  
8kt — • —  
12kt — Δ —

(3-3-81)

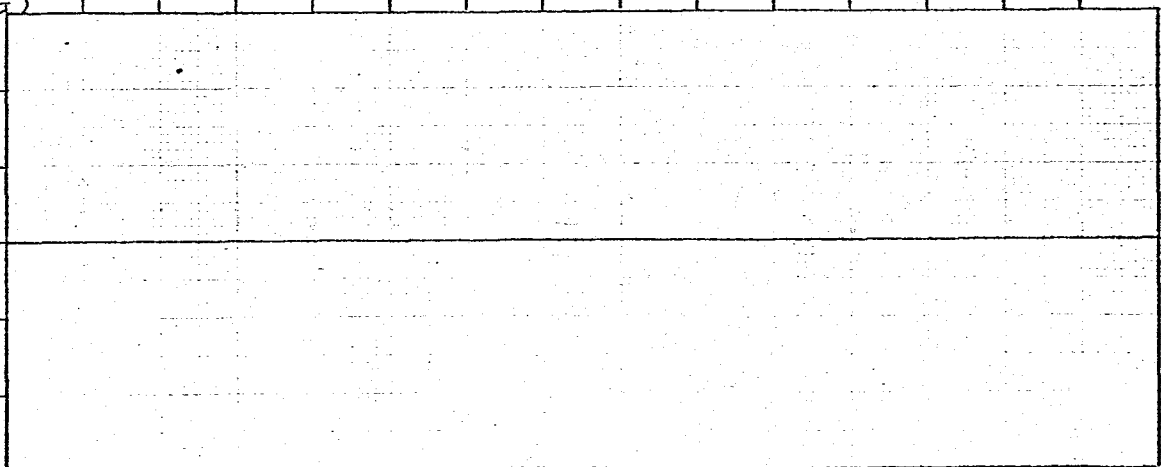
$v$  (cm/sec)



$\gamma$  (DEG/sec)



$\delta$  (DEG)

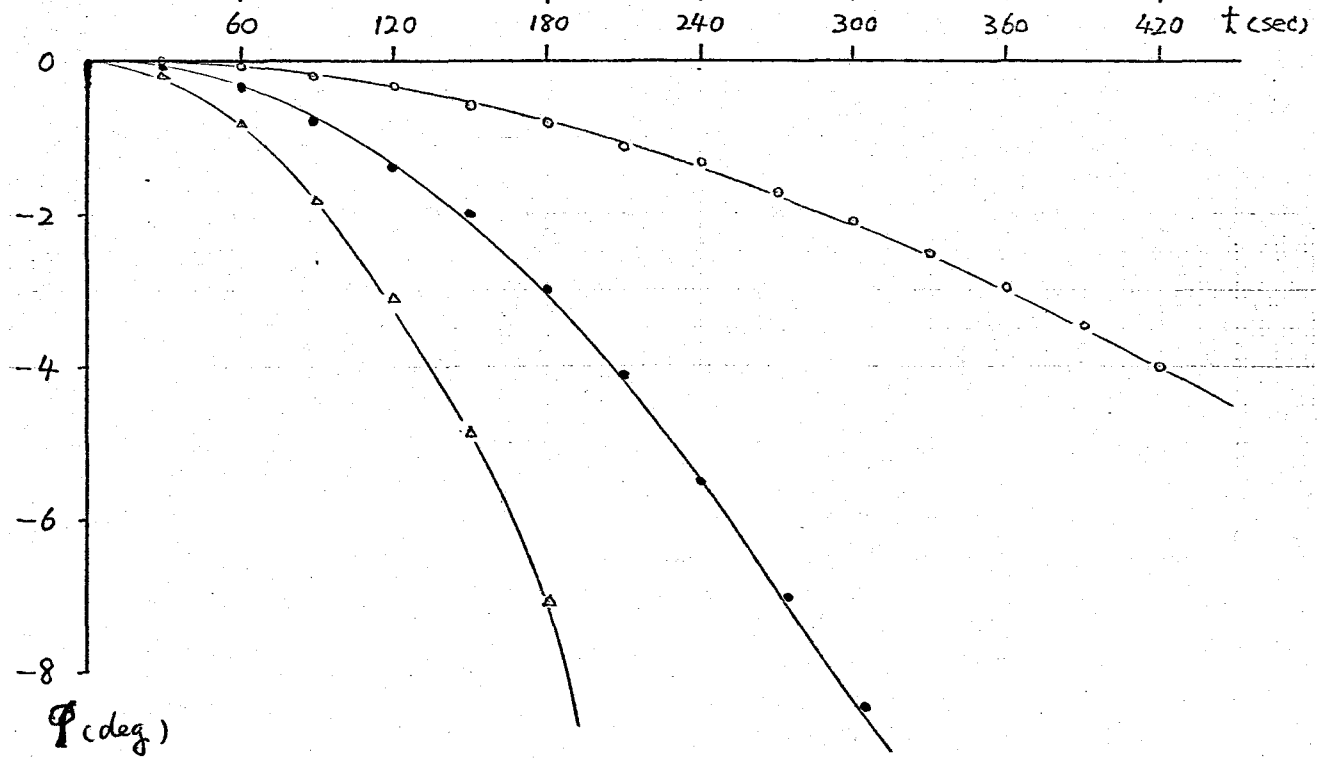
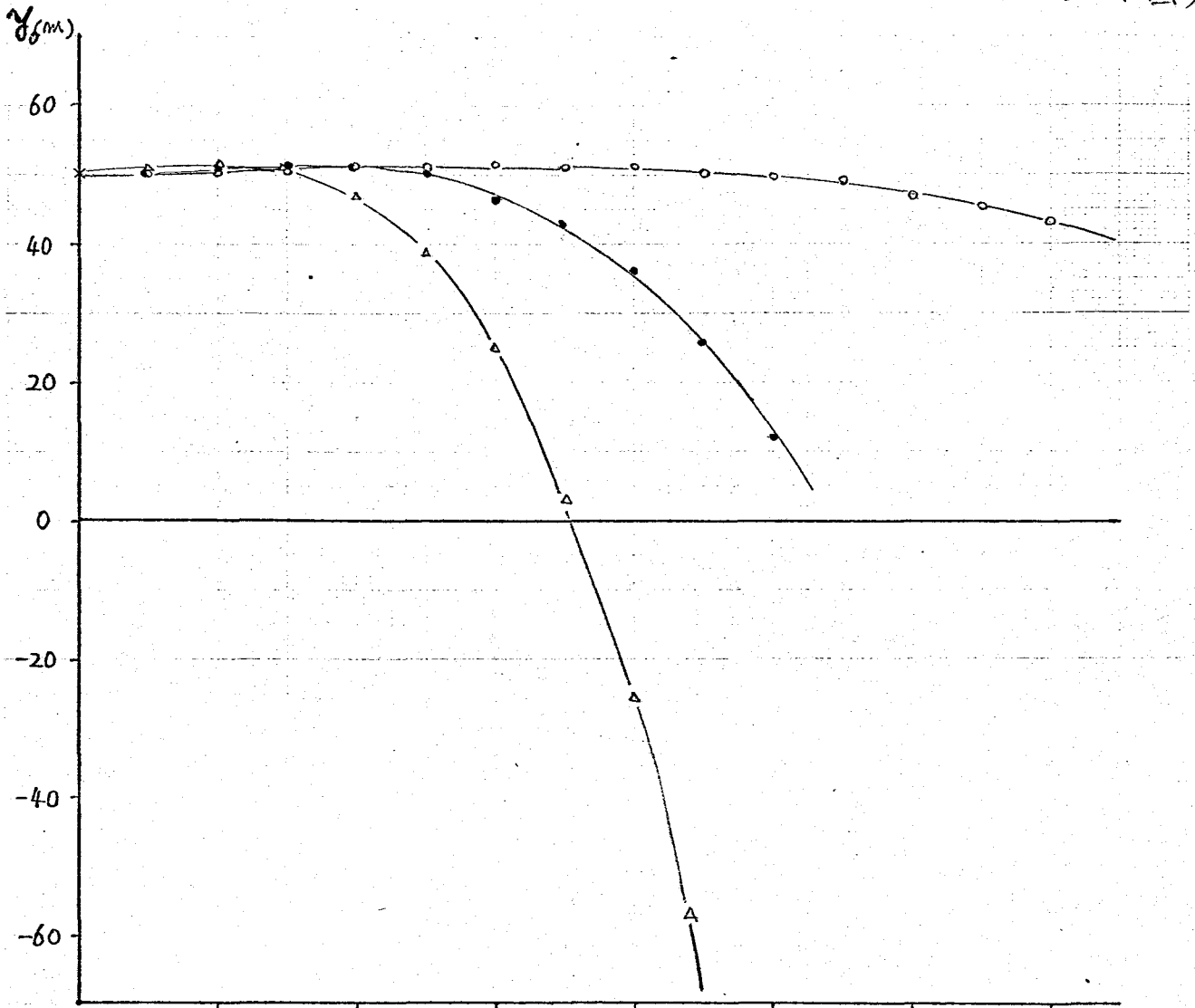


Deri's 1

$\gamma/B = 1.0$

4 kt — ○ — 36  
8 kt — ● —  
12 kt — △ —

(3-3-9图)



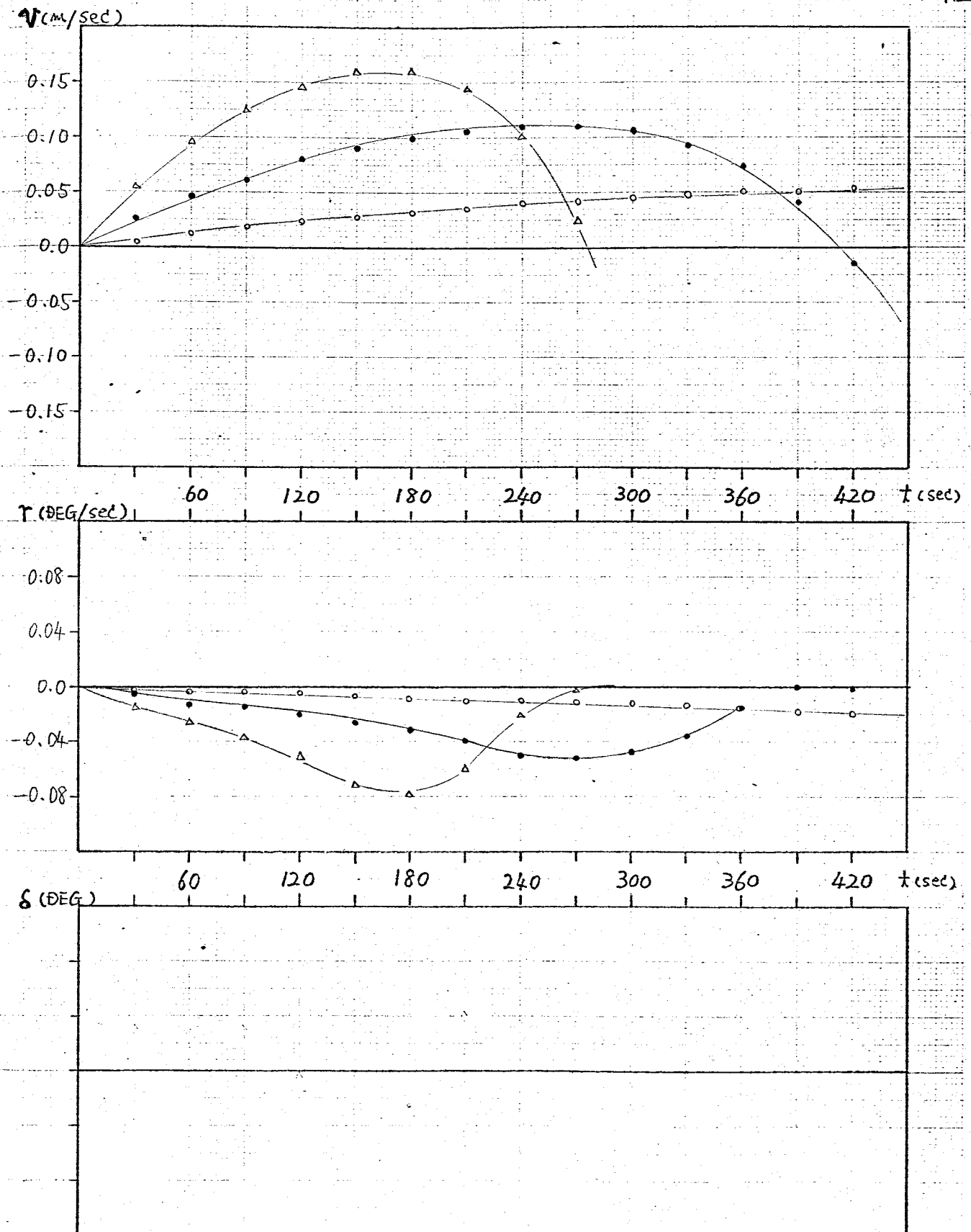
Deris 1

$Y/B = 1.0$

4kt — o —  
8kt — • —  
12kt — Δ —

37

(3-3-10X)





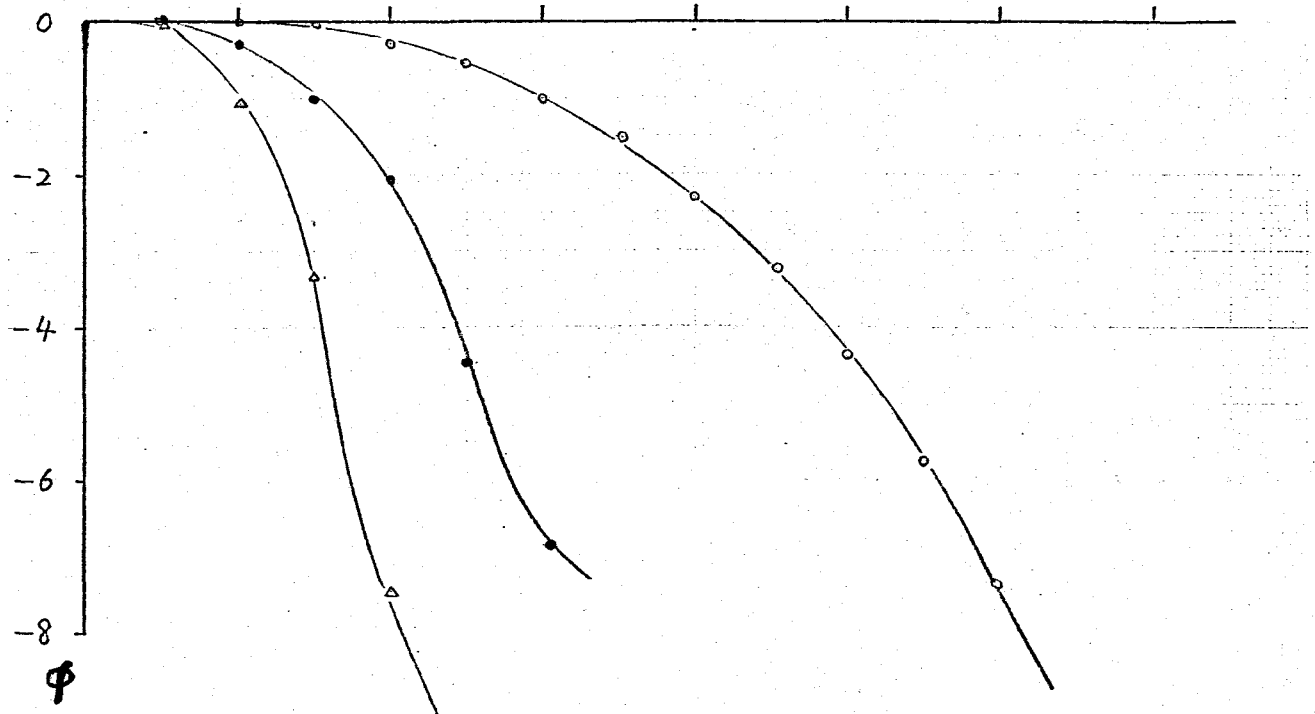
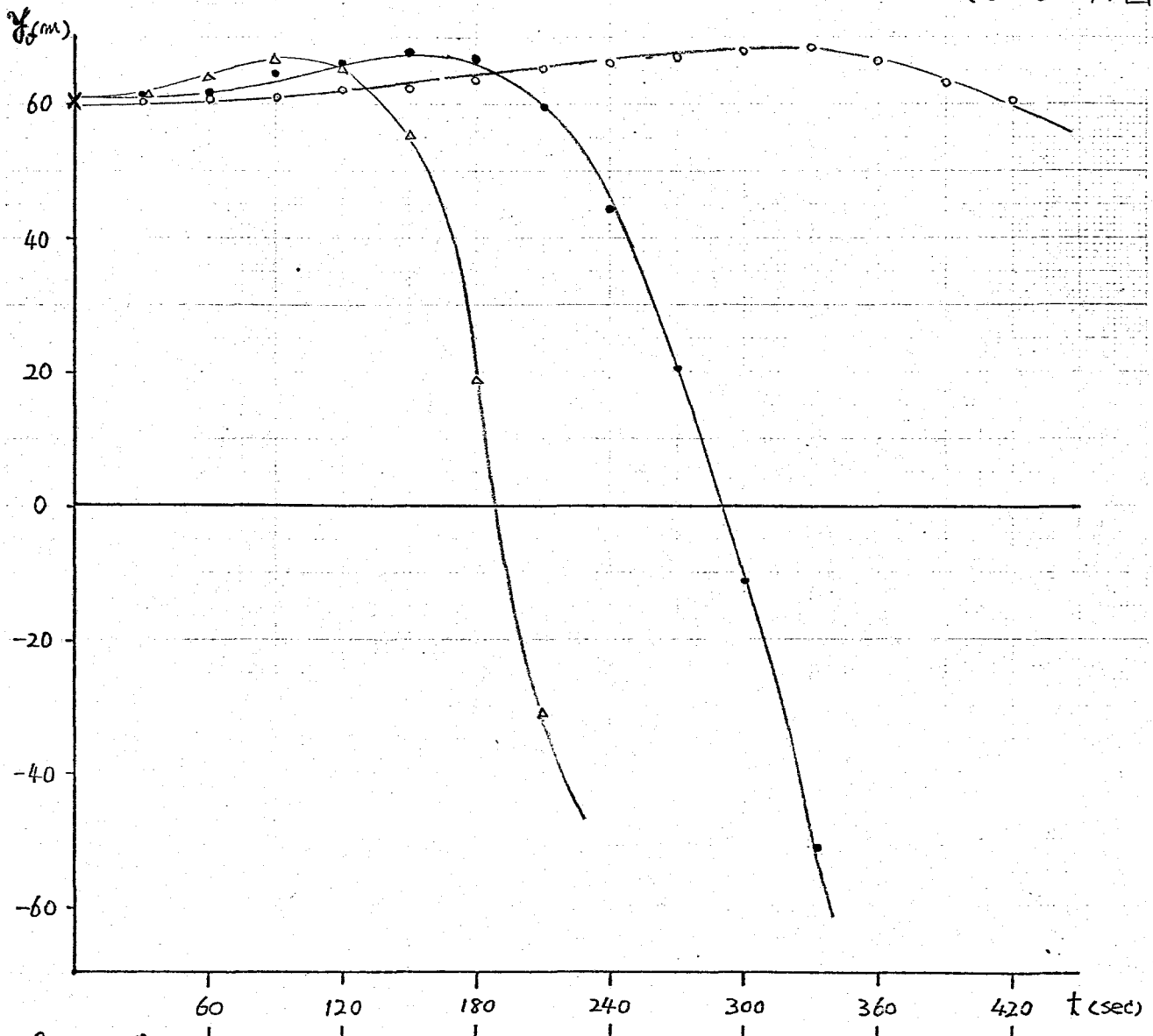
Deri's 1

$\gamma/B = 1.2$

4 k<sub>t</sub> — ○ —  
8 k<sub>t</sub> — ● —  
12 k<sub>t</sub> — △ —

38

(3-3-11)



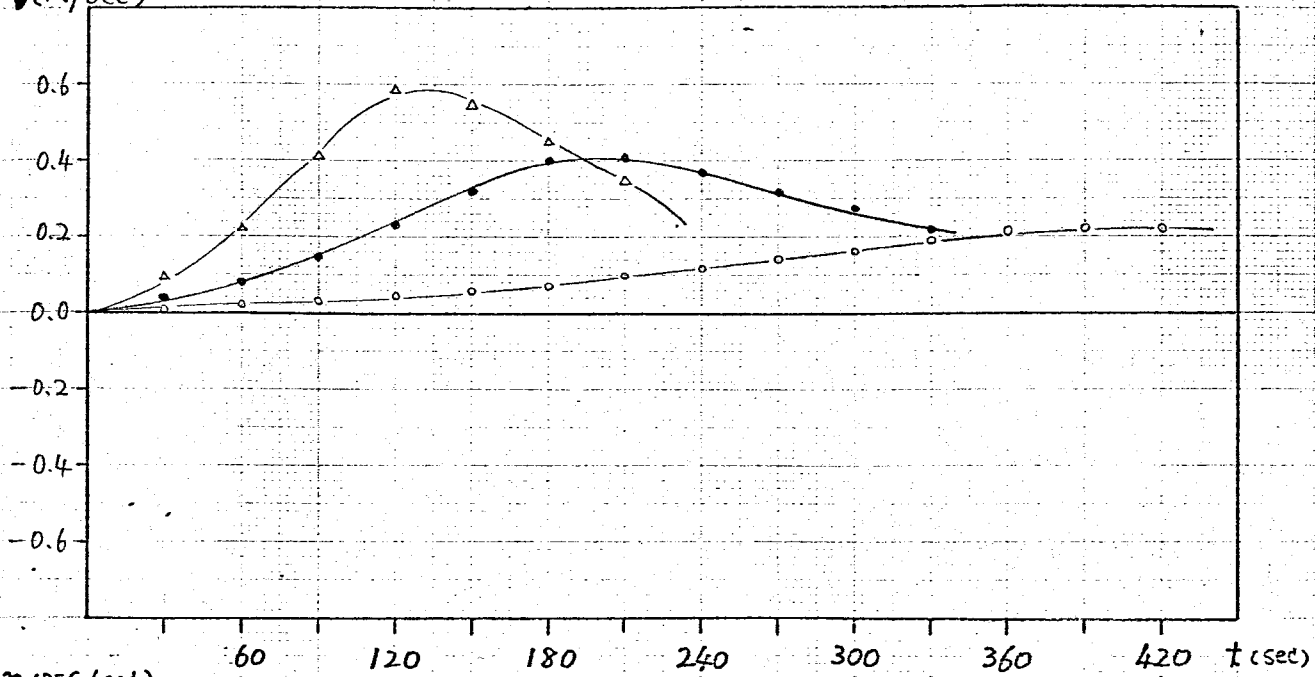
Deris 1

$Y/B = 1.2$

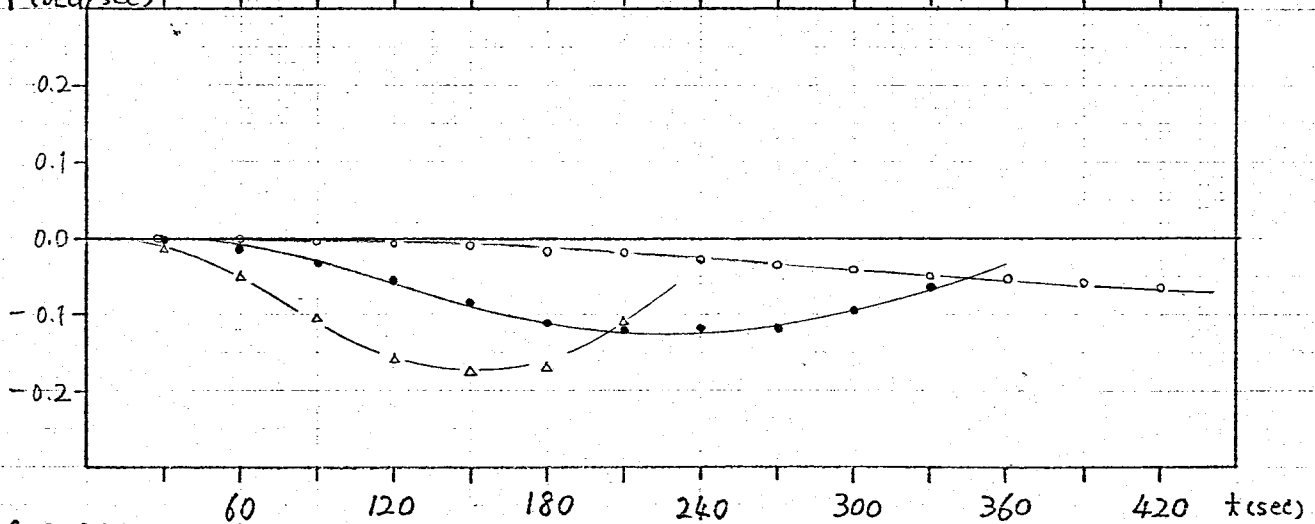
4kt — o — 39  
8kt — • —  
12kt — Δ —

(3-3-12 X)

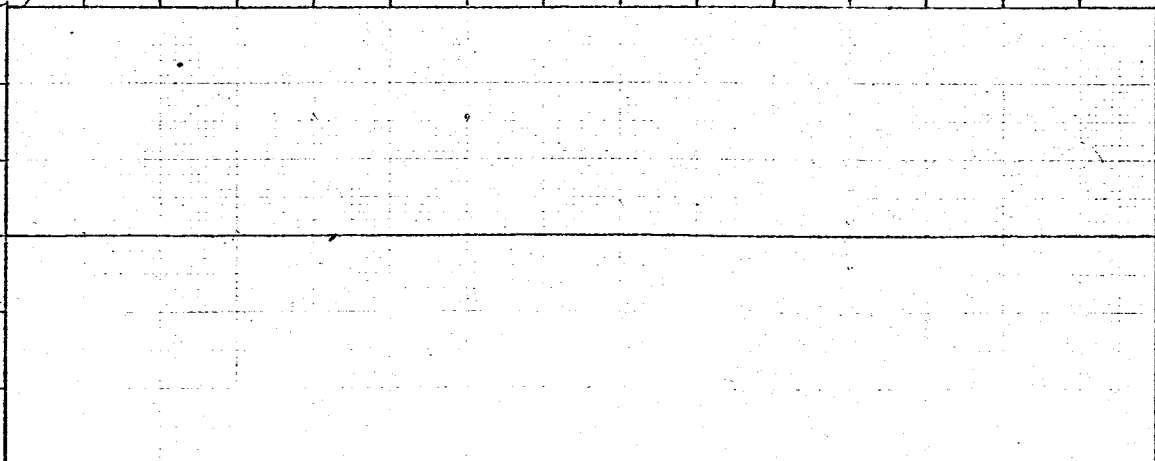
$v$  (cm/sec)



$\gamma$  (DEG/sec)

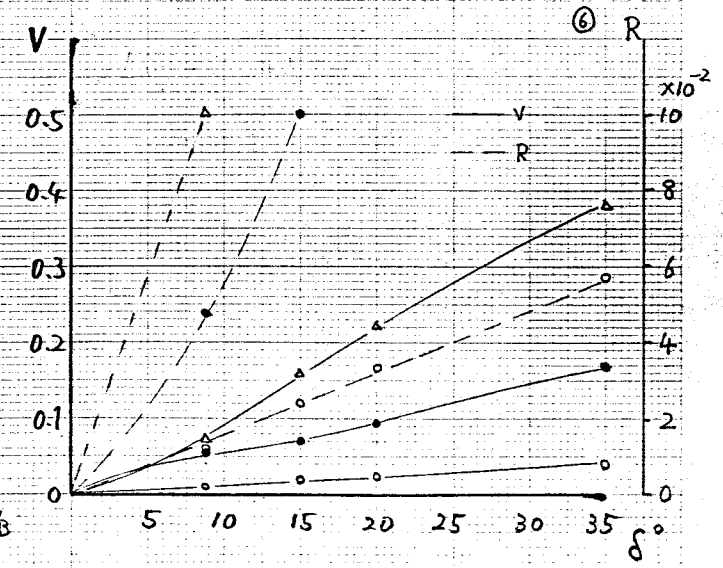
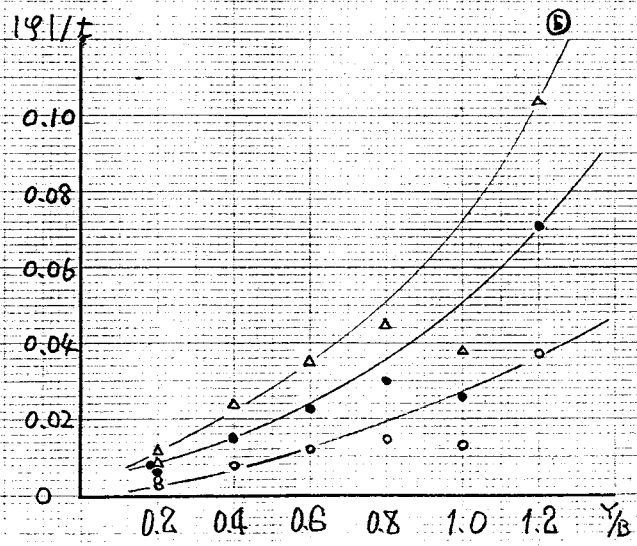
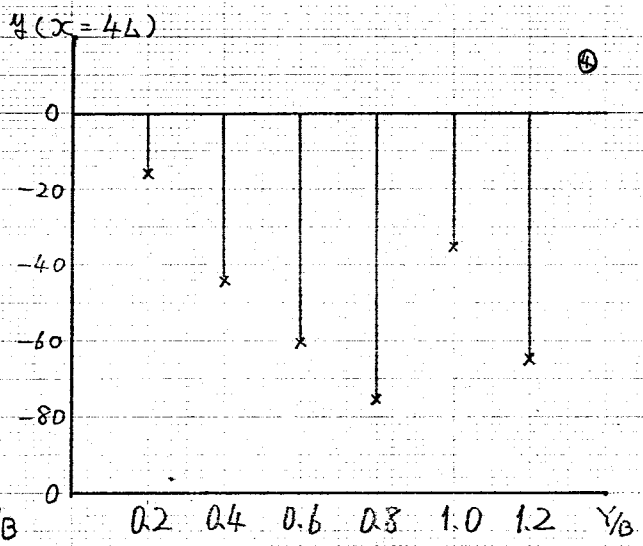
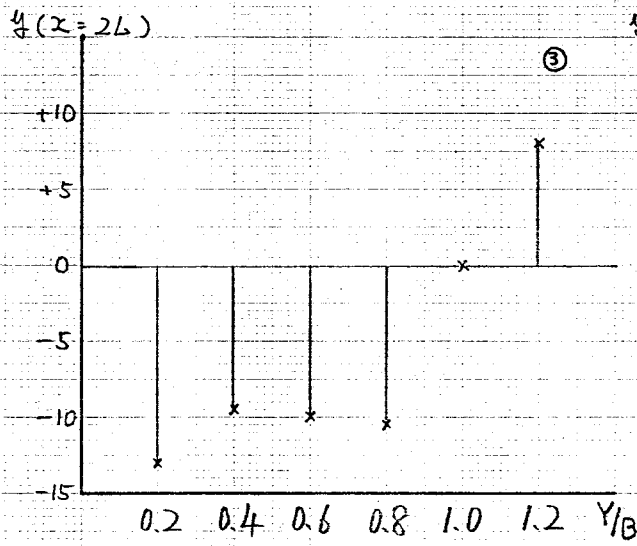
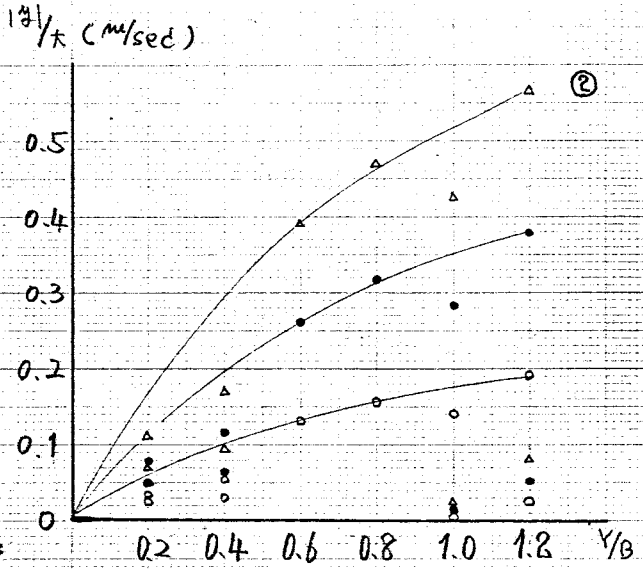
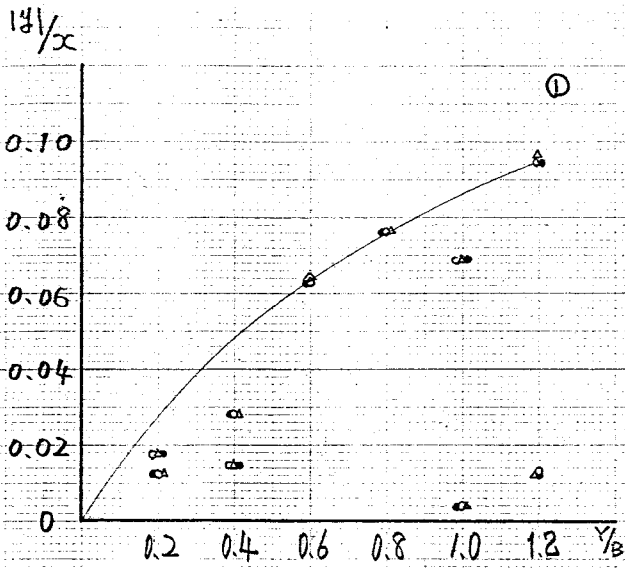


$\delta$  (DEG)



3-4 ☒

4 k<sub>i</sub> — ○ — 40  
 8 k<sub>i</sub> — ● —  
 12 k<sub>i</sub> — △ —



### 3-3-2. 当て舵を取った場合.

前節で操舵を行わない場合に、側壁影響を受けて船が水路内でどのような運動をするかを知った。

実際に船が水路内を航行する場合には保針のために操舵を行なうのであるから、次に当て舵を取って、船が常に水路の方向と平行( $\phi = 0$ )に姿勢を保つような条件を計算に付け加えた。

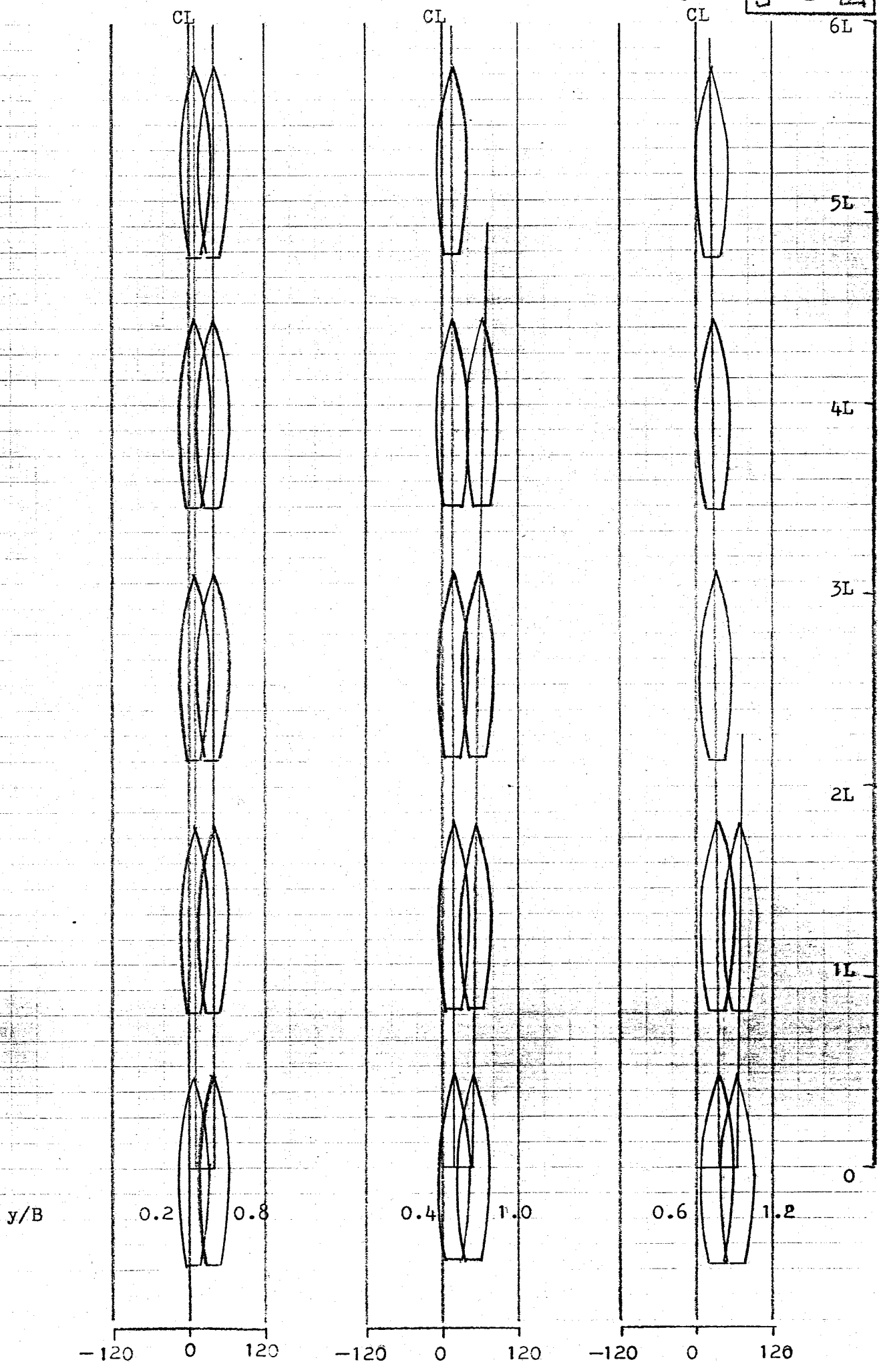
当て舵の大きさは、角加速度を相殺するために、舵角

$$\delta = - \frac{N_v v + N_r r + N_w}{N_\delta} \quad (16)$$

によって求めた。その際に  $\delta$  を与えたために生じる  $v$  に対しては、処理をしなかった。

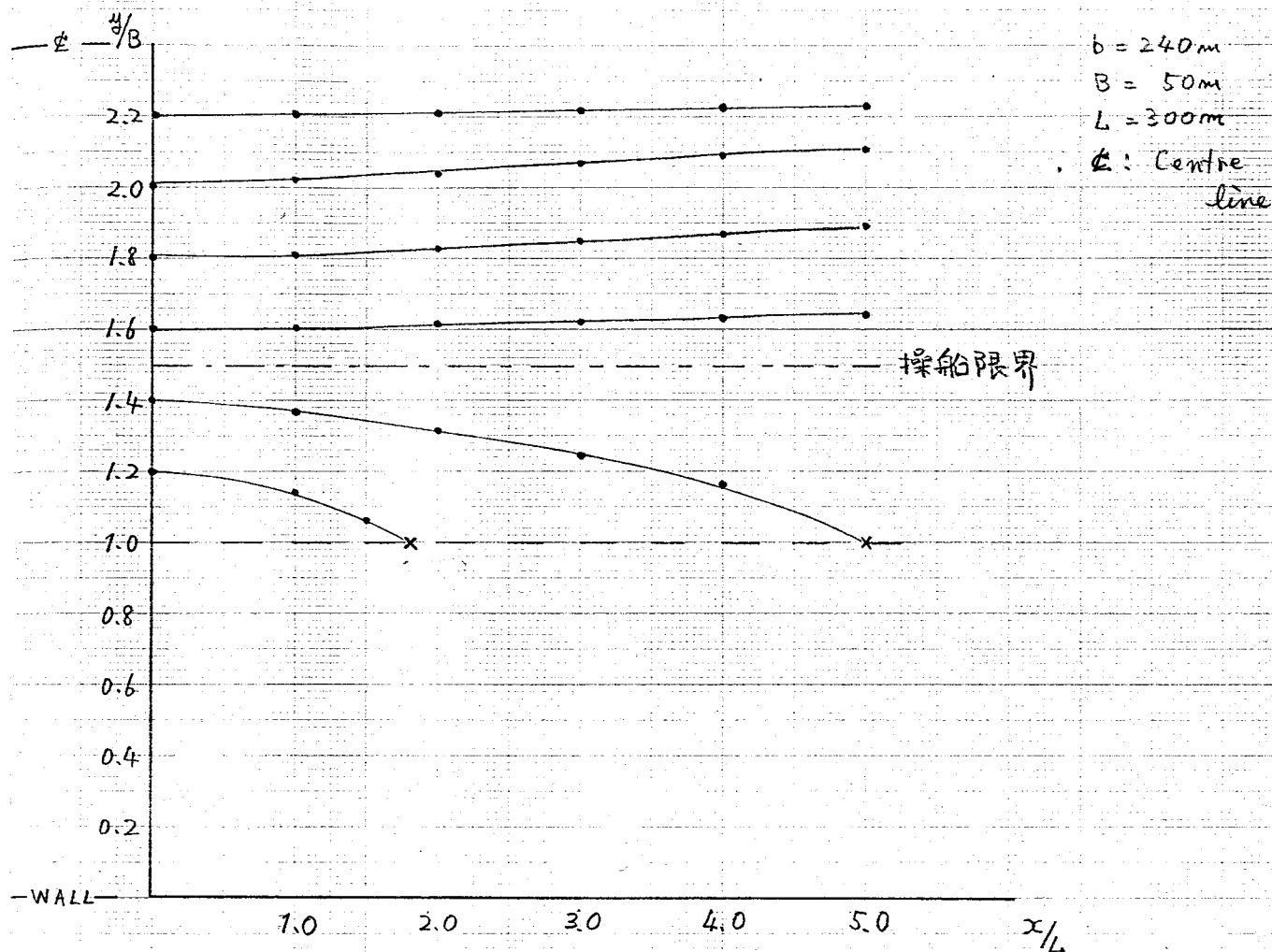
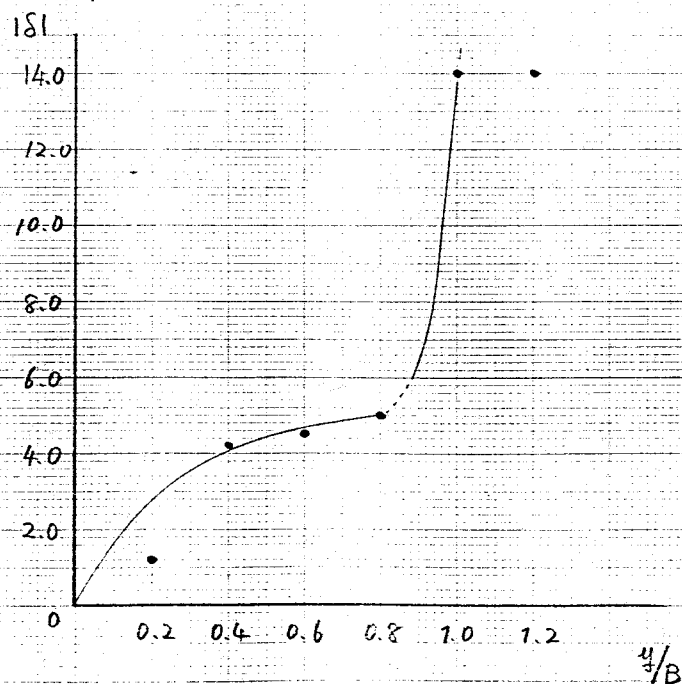
⑧式に⑬式で求めた  $\delta$  を代入して行なった計算結果を(3-5図)に示した。また(3-6図)と(3-7図)には、常に  $\phi = 0$  を保って操舵した場合の横変位量と保針舵角の変化を、それぞれ示した。

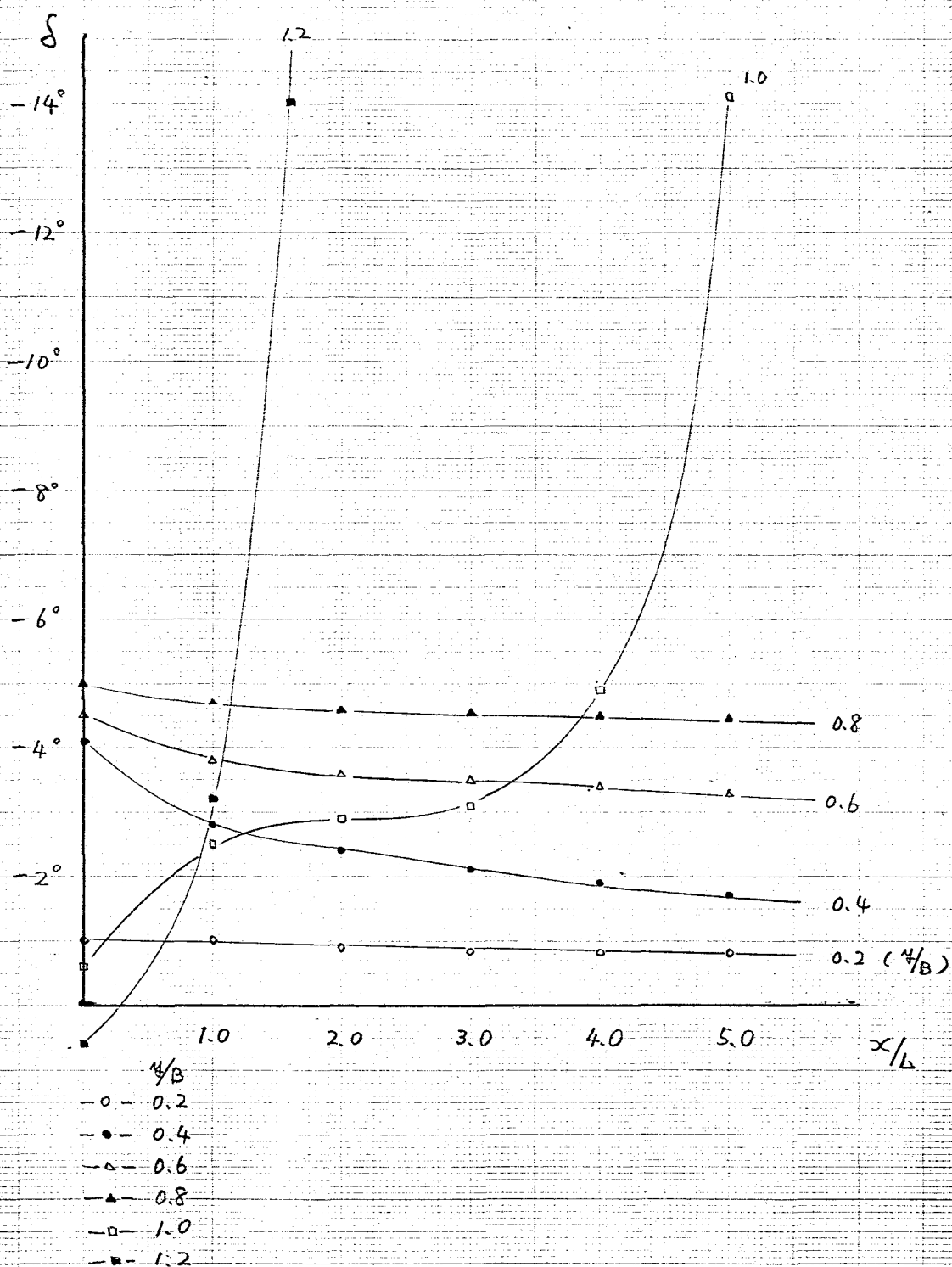
3-5



常に  $\varphi = 0$  を保って操船した場合の横偏位量

3-6 図

保針舵角 ( $\delta_{max}$ )



(3-6図)及び(3-7図)から分るように、当て舵操船を行なった場合の、進路  $y/B = 1.0$  及び  $1.2$  の2例では、船体が Near Wall 方向へ運動している。また、その際の舵角の変化も進路を  $y/B = 0.2 \sim 0.8$  にとった例と比較すると非常に大きくなることが分る。

この Near Wall 方向への船の運動は、側壁によって与えられる角加速度  $\dot{r}$  を相殺するために行った舵角  $\delta$  によって生じた加速度  $-v_1$  と、側壁による加速度  $+v_2$  との大小関係によって説明できる。

すなわち前述の⑦～⑫式において、 $t=0$  では

$$v = r = 0, \quad I_3 - N_i > 0, \\ m - Y_i > 0.$$

であるから、 $\Delta t$  後の⑧式の加速度  $v$  の正負は  $Y_\delta \delta + Y_w$  によって、また⑨式の角加速度  $\dot{r}$  の正負は  $N_\delta \cdot \delta + N_w$  によって各々決まる。 $y_0 > 0$  (水路中央から右側水域)の条件では

$$Y_w > 0, \quad N_w < 0, \\ Y_\delta > 0, \quad N_\delta < 0.$$

であるからモーメント  $N_w$  に対抗するためには舵角  $\delta < 0$  でなければならぬ。

従って  $Y_\delta \delta < 0$  であるから、 $|Y_\delta \cdot \delta| > Y_w$  とな



らば、加速度  $\ddot{u}$  は負になる。

ここで

$$Y_s \delta = Y'_s \cdot \frac{1}{2} \rho L^2 \omega^2 \delta, \quad N_s \delta = N'_s \cdot \frac{1}{2} \rho L^3 \omega^2 \delta$$

$$Y_w = Y'_w \cdot \frac{1}{2} \rho L d \omega^2, \quad N_w = N'_w \cdot \frac{1}{2} \rho L d \omega^2$$

であるから  $Y_s \delta = Y_w$  に代入すると

$$\delta = Y'_w \cdot d / Y'_s \cdot L \quad (17)$$

また  $N_s \cdot \delta = N_w$  から

$$\delta = N'_w \cdot d / N'_s \cdot L \quad (18)$$

を得る。⑪式と⑫式の  $\delta$  が相等しいとすると、

$$Y'_w / Y'_s = N'_w / N'_s$$

$$\therefore Y'_w / N'_w = Y'_s / N'_s \quad (19)$$

となる。

また  $t = \Delta t$  で  $r = 0$ ,  $\dot{u} < 0$  ならば  $r = 0$ ,  $\dot{u} < 0$  であることは⑩～⑫式より明らかである。

$r = 0$ ,  $\dot{u} < 0$  ならば⑨式で

$$N_u \dot{u} > 0 \quad \because N_u < 0 \quad (\text{usual case})$$

$$N_r r = 0$$

( $\beta$  が小さいので)

$$N_w(t = \Delta t) \doteq N_w(t = 0) < 0$$

であるから  $|\delta_{t=\Delta t}| < |\delta_{t=0}|$  となるはずであるが実際には殆ど  $|\delta_{(t+\Delta t)}| \doteq |\delta_{(t)}|$  となる。また⑧式で  $r = 0$ ,  $\dot{u} < 0$  ならば

$$Y_u \dot{u} > 0 \quad \because Y_u < 0$$

$$(Y_r - m u) r = 0$$

\*  $\Delta t$  時間後の値

$$Y_w(t=\Delta t) \div Y_w(t=0) > 0$$

となって、 $\psi$  が直ちに正の方向へ転じるかの様に思われるが、 $t=0$  から  $\Delta t$  後に速度  $\psi$  が負になるような  $|Y_w'/N_w'|$  比であれば、 $|N_w'|$  は減少するが  $|Y_w'|$  も時間の経過と共に減少するために、船体は暫くの間は  $\psi < 0$  のまま運動を続ける。

今回の計算に用いた微係数の比  $Y_s'/N_s'$  の値は  $-2.13$  である。従って ⑩ 式から、流体力の比が

$$\left| \frac{Y_w'}{N_w'} \right| < 2.13$$

であれば、 $\phi = 0$  を保つように操船した場合に Near Wall から遠ざかることができる。

今回の計算中の  $Y_w'-N_w'$  比と運動を調べると

$y/B$	$ Y_w'/N_w' _{t=0}$	横変位 $\oplus \rightarrow$ Near wall $\ominus \rightarrow$ Far wall
0.2	1.167	$\ominus$ 方向
0.4	0.666	" "
0.6	1.306	" "
0.8	1.804	$\ominus$ "
1.0	19.664	$\oplus$ "
1.2	28.275	$\oplus$ "

のようになる。

以上のことから、側壁近くを航行する船は、吸引力と反発回頭モーメントを同時に受け、そのモーメントに対抗するために当て舵を取った場合には、通常は吸引力と反対方向の横力が舵によって得られることが分る。この側壁による吸引力と舵による横力とが釣り合う点を、ひとつの操船限界と考えると、 $b/B = 4.8$ ,  $h/d = 7.9$  の水路では、 $y/B = 0.8$  付近までが可航範囲として求められる。

## 4. 条件の異なる水路での運動.

### 4-1. 条件の異なる水路での流体力

実験で得た流体力を K. E. Schoenherr の資料に基づいて、 $b/B$  及び  $h/d$  の異なる水路に應用することを試みに.

#### 4-1-1 幅員の異なる水路での流体力

K. E. Schoenherr の資料 (1) には  $b/B$  が 2.0 ~ 8.0 の範囲で側壁影響を示してある。この資料の流体力を 2 次曲線で表すために

$$\left. \begin{matrix} C_L \\ C_N \end{matrix} \right\} = a_n \left( \frac{y}{B} \right)^2 \quad n : b/B$$

とおく。

$b/B = 2.0 \sim 8.0$  の各々の曲線に関して、値を図から読み取って傾き  $a_n$  の連立方程式を掃き出し法で解くと、(4-1表) の係数  $a_2 \sim a_8$  が求まる。近似式の誤差は 5% 以下になるようにした。

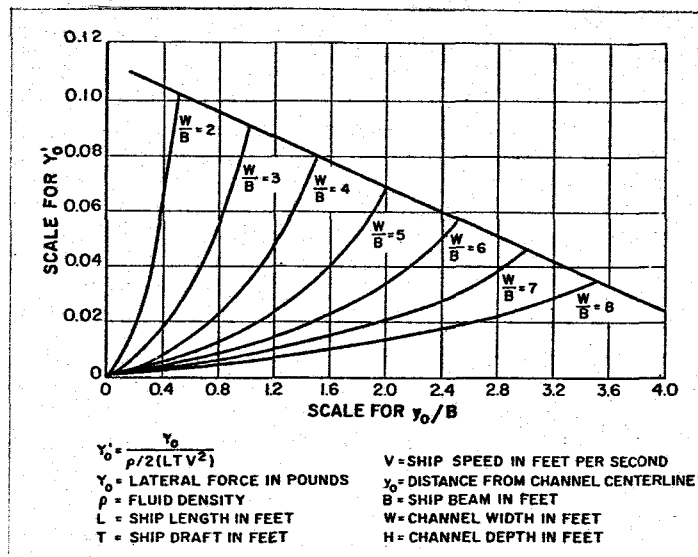
係数  $a_2 \sim a_8$  が得られたので、次に実験で得た  $C_L, C_N$  ( $b/B = 4.8$ ) を、 $C_L$  または  $C_N = a_{4.8} (y/B)^2$  の式で表わし、係数  $a_{4.8}$  と  $a_n$  ( $n = 2, 3, \dots, 8$ ) との比を求めれば、 $b/B = 4.8$  での流体力を  $b/B = 2 \sim 8$  の条件での流

体力として応用することができる。

このようにして求めた流体力  $C_L$ ,  $C_N$  の値を (4-1図) に示してある。但し 3-3-2 で求めた  $b/B = 4.8$  の時の操船限界を、同じ方法で  $b/B = 2 \sim 8$  の水路についても求め (4-2図), その限界内での流体力の値を図示してある。

## 幅員の変化と流体力の変化率

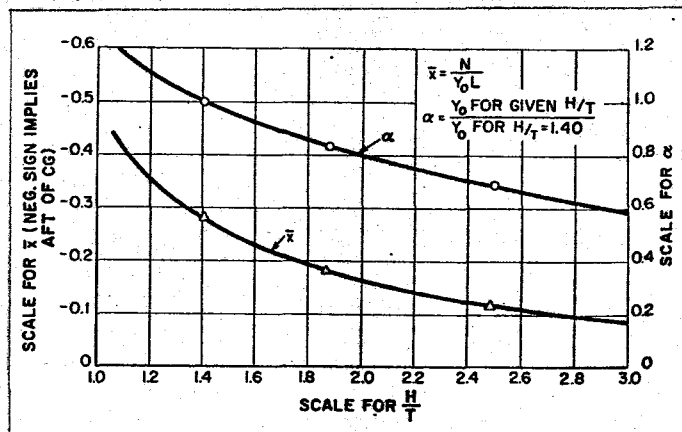
$b/B$	$a_m$	$a_m/a_{4.8}$
4.8	0.0208333	1.0
2.0	0.3437500	16.500026
3.0	0.0864200	4.148167
4.0	0.0363513	1.744803
5.0	0.0171875	0.825121
6.0	0.0076389	0.366721
7.0	0.0053571	0.257280
8.0	0.0032544	0.156002



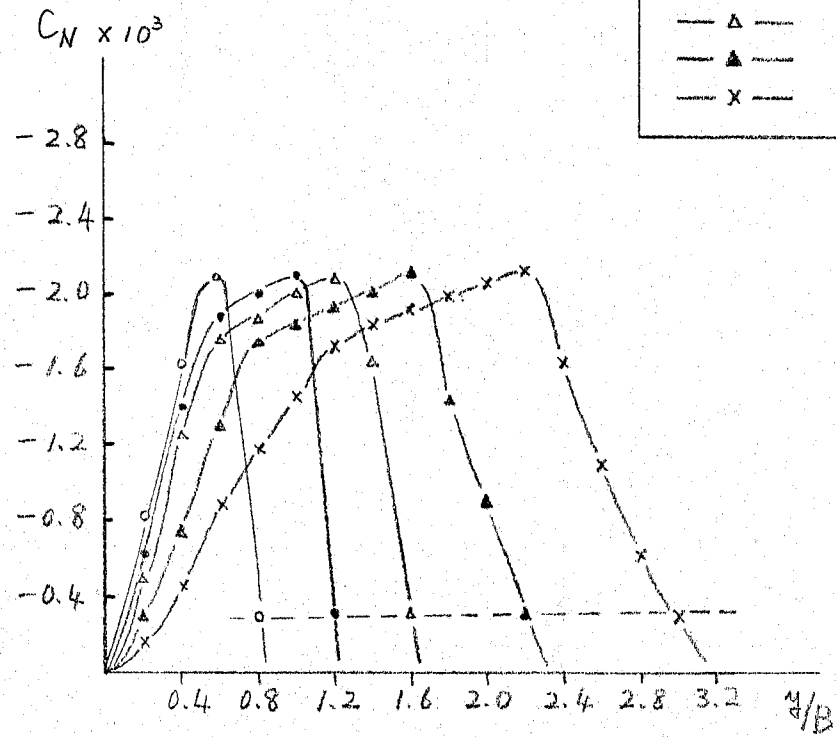
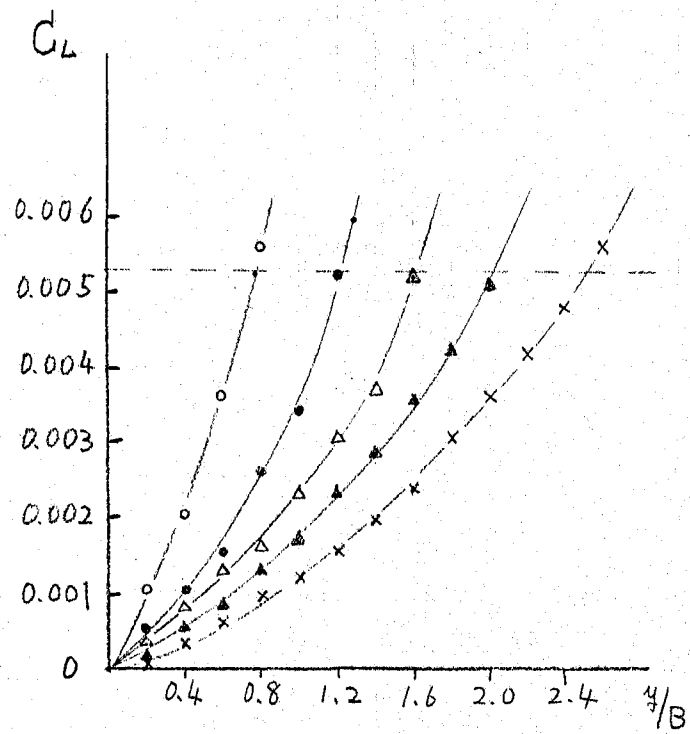
Schoenherr によ3  
流体力の資料

$$C_L = Y'_0 \cdot \alpha$$

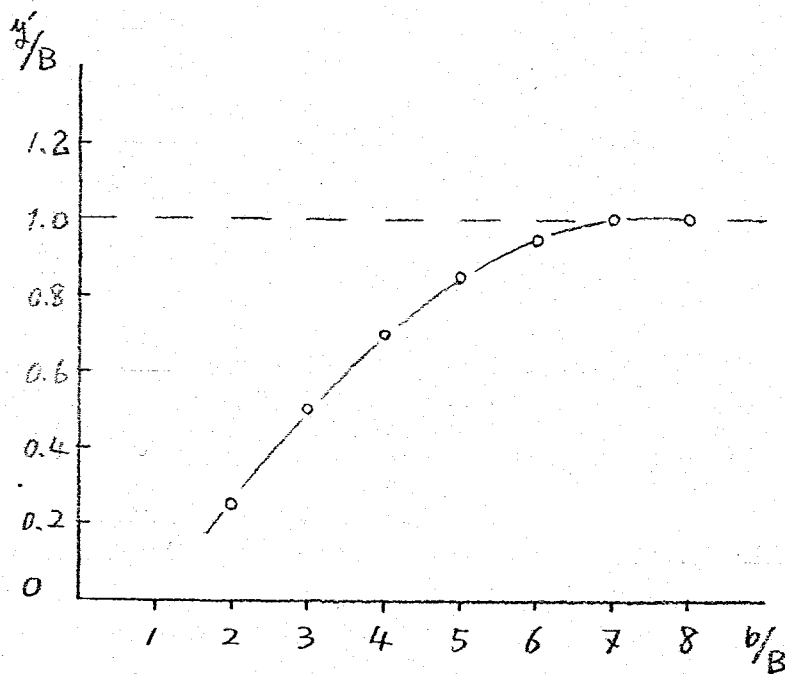
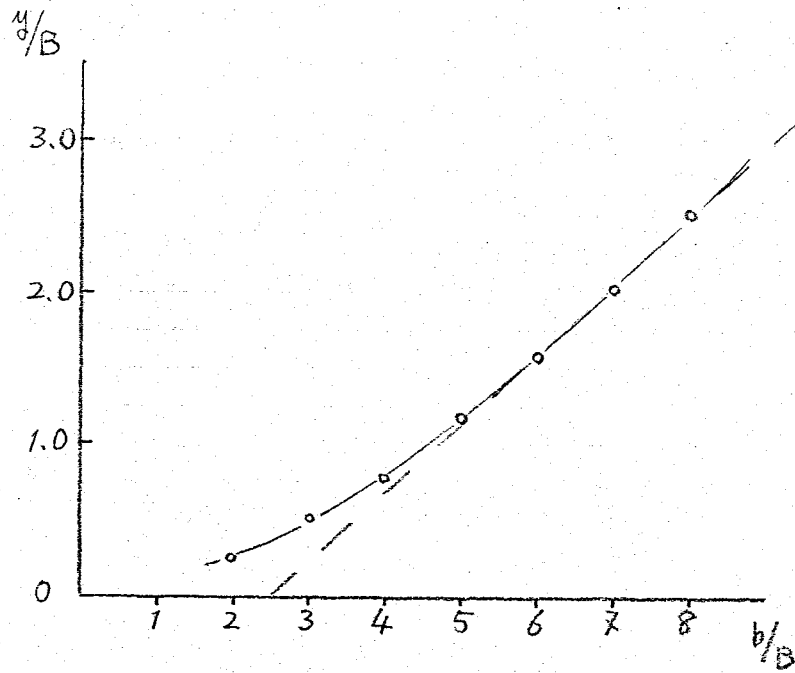
$$C_N = C_L \cdot L \cdot x$$



# 幅員が変わった場合の流体力の変化



操船限界 ( $h/d = 8.9$ )



$y$  : 水路中央からの距離

$y'$  : 側壁からの距離



#### 4-1-2 異なる水深の水路での流体力

4-1-1 と同じ資料から水深が変わった場合の流体力の大きさの変化を近似式で表わした。流体力の変化率を  $\alpha$  とすると

$$\alpha = a_1 \left(\frac{h}{d}\right)^{-1} + a_2 \left(\frac{h}{d}\right)^{-2} \quad (20)$$

と表わすことができる。  $\alpha$  と  $h/d$  の値を図から読んで前節と同じ方法で係数  $a_1$  と  $a_2$  を求めると、

$$a_1 = 2.1600$$

$$a_2 = -1.1152$$

を得る。この係数  $a_1, a_2$  を (20) 式に代入して  $h/d = 1.2 \sim 7.9$  に対する  $\alpha$  を求めると (4-2表) と (4-3図) に示す値が求まる。

この流体力の変化率を、3-3-2で行なった当て舵操船に應用して、それぞれの水深での舵角を求めると (4-4図) のようになる。但し  $b/B = 4.8$  の水路で  $b/B = 0.8$  の進路 (最も側壁に接近した進路) をとった例である。

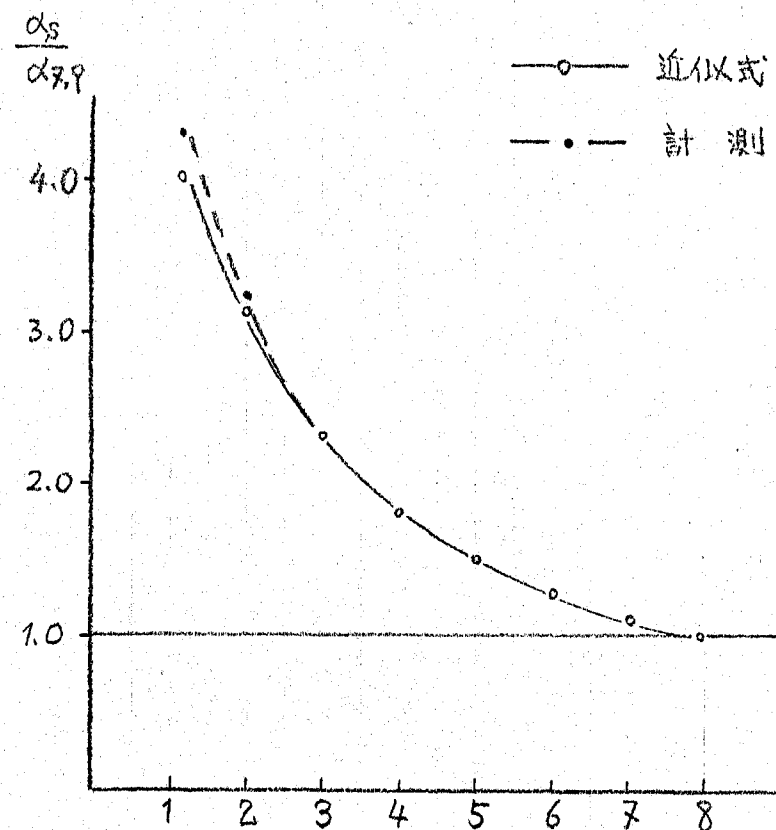
水深の変化と流体力の変化率

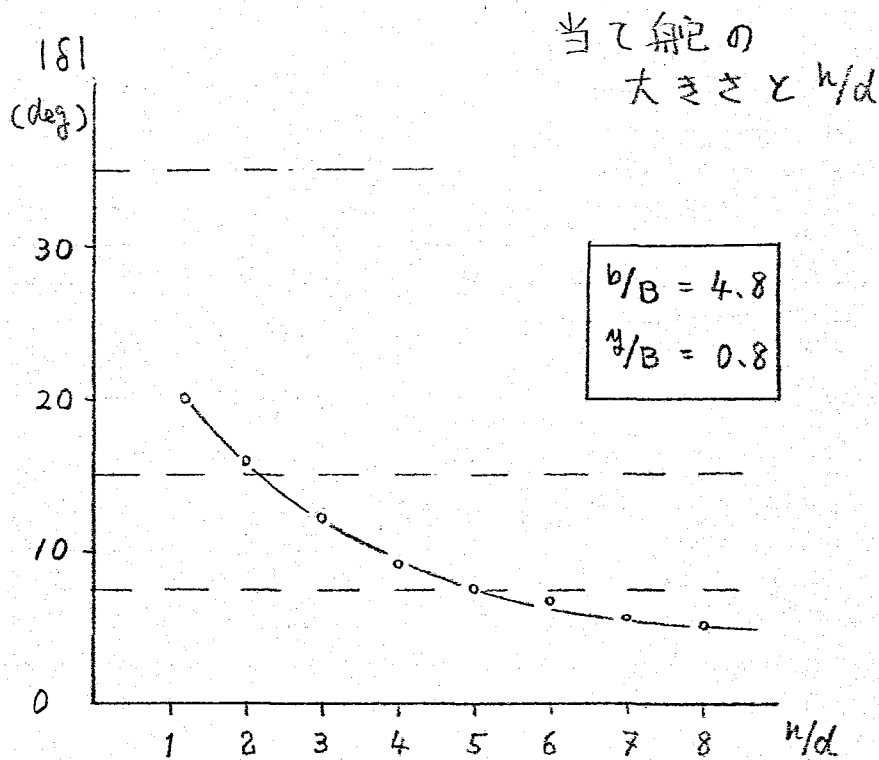
4-2 表

$h/d$	$\alpha_s$	$\alpha_s/\alpha_{2.9}$
7.9	0.2255	1.0
7.0	0.2858	1.1186
6.0	0.3290	1.2877
5.0	0.3874	1.5162
4.0	0.4703	1.8407
3.0	0.5961	2.3331
2.5	0.6856	2.6834
2.0	0.8012	3.1358
1.8	0.8558	3.3495
1.6	0.9144	3.5788
1.4	0.9740	3.8121
1.2	1.0256	4.0141

$$S' = h/d$$

4-3 図





他の  $b/B$  または  $y/B$  の条件が与えられた場合にも、計算によって求めた当て舵量に係数  $\alpha_s/\alpha_{s,0}$  を掛けることにより任意の水深で、操船上必要とされる舵角が求められる。計算プログラムにはこの係数が流体力  $Y_w, N_w$  に前もって掛けられるようにしてある。

(cf App-III Main Programme)

## 4-2 水路幅と可航幅

4-1で水路の条件が変わった場合の流体力の変化を知った。このDATAを利用して、(4-2図)に示した可航範囲内で  $b/B$  比が4~8の水路内を航行する船の占有幅を計算によって求めた。

船が保針するためには、あるヨーイング幅を必要とする。このヨーイング幅は操舵方法によって変化し、一定ではないがここでは実際の操舵に近いと思われる条件を与えて、船の運動を計算した。

まず  $h/d = 7.9$  の条件で計算を行なうために、舵角  $\delta$  は  $\pm 7.5^\circ$  とした。過大な舵力を与えると、運動がより不安定になると推測されるからである。また操舵開始の条件は、船の偏角( $\phi$ )が所定の針路から  $11^\circ$  以上になった場合、及び横変位が初期の進路から  $1B/2$  以上になった時とする。但し操舵の応答遅れは考慮していない。

(4-3表)に計算の結果を示した。この表で、可航幅とは、ヨーイングを考慮した

場合に、船が水路の中央から左右いずれか片側のみを進航する場合に許される占有幅である。また操舵頻度は、船の Sway が最大になった点までの所要時間で、その間の操舵時間を除いた値である。(4-3表)で  $y/B = 0.2 \sim 0.8$  の進路をとった場合に Sway 幅が小さいのは、船が水路の中央から反対側へ出てしまうために、Far Wall からの流体力を受けるからである。また側壁に近い進路を取った場合に Sway が最大になる点までの縦方向の距離  $x_0$  が大きくなる理由は  $|Y_s|$  と  $|Y_w|$  の差が小さくなるためである。操舵頻度の比較から、水路幅が大きい程、同一の操舵条件 ( $|\phi| \leq 1^\circ$ ,  $|Y_s| \leq B/2$ ) 下では操船に余裕のあることが分る。

以上の計算結果から、ここで与えた操舵条件下では  $y/B = 4.0 \sim 8.0$  のいずれの場合にも最大 Sway 幅は  $0.6B$  程度になることを知った。また側壁影響のみを考えた場合でも、船が水路中央から片側だけを航行するためには船幅の7倍以上の水路幅が必要になることが分る(4-5図)。

## 4-3表

## 水路幅と船の運動

b/B	y/B	Syaw幅	$x_0$ (L)	可航幅 (B)	操舵頻度
4.0	0.2	20 m	5.7 L	0 B	7.2 %
	0.4	28	6.2		26.1
	0.6	29	5.6		47.8
	0.8	30	8.6		50.2
5.0	0.2	22 m	6.5 L	$\leftarrow 0.2 B$	3.2 %
	0.4	28	6.2		24.9
	0.6	29	5.8		37.2
	0.8	30	5.7		54.1
	1.0	31	5.7		59.6
	1.2	32	9.0		46.9
6.0	0.2	21 m	6.0 L	0.6 B	1.7 %
	0.4	28	6.2		21.6
	0.6	29	6.3		35.9
	0.8	30	5.8		47.9
	1.0	32	5.9		54.1
	1.2	31	6.0		60.0
	1.4	32	6.3		65.3
	1.6	32	9.8		51.4
7.0	0.2	26 m	8.1 L	1.2 B	0.0 %
	0.4	28	6.4		4.8
	0.6	29	6.1		28.7
	0.8	30	6.0		32.6
	1.0	30	5.9		43.6
	1.2	31	5.9		45.3
	1.4	32	6.0		56.6
	1.6	31	6.1		55.6
	1.8	31	6.4		69.1
	2.0	31	8.0		61.7
8.0	2.2	31	9.8		43.0
	0.2	26 m	8.6 L	1.6 B	7.2 %
	0.4	29	8.2		11.3
	0.6	29	6.6		21.8
	0.8	29	6.1		27.0
	1.0	30	6.0		36.0
	1.2	30	5.9		43.6
	1.4	31	6.0		46.3
	1.6	31	6.0		51.4
	1.8	32	6.0		56.6
	2.0	31	6.1		62.4
	2.2	31	6.1		70.8
	2.4	31	6.4		75.6
	2.6	31	8.2		67.8
	2.8	31	8.4		60.0

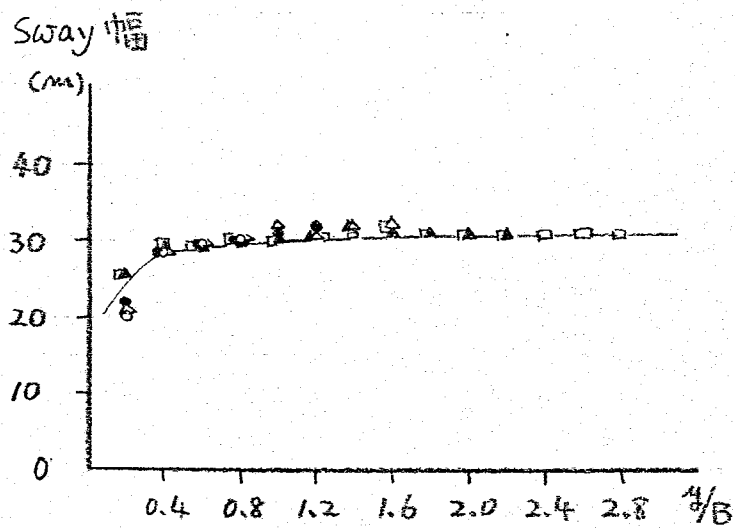
$$h/d = 7.9$$

$$181 = 7.5^\circ$$

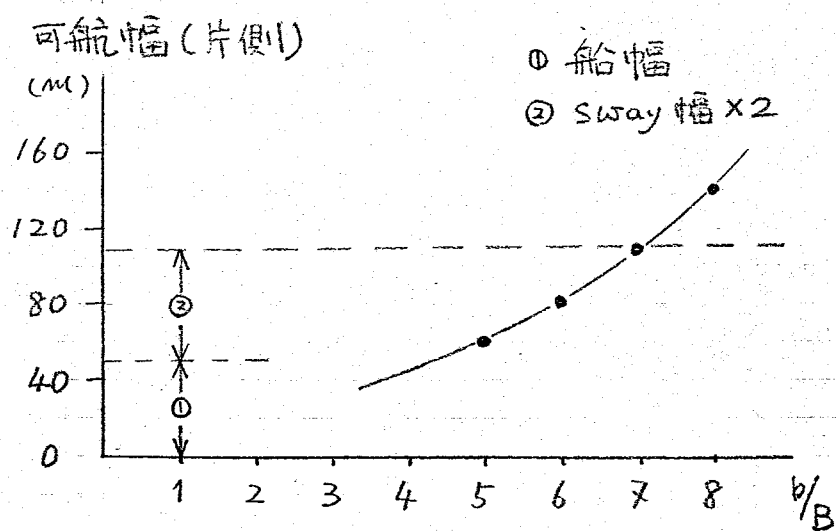
$$191 \leq 1^\circ$$

$$1Y_2 \leq B/2$$

4-5 Ⅳ



$b/B$	$b/B$
—○— 4	—▲— 7
—●— 5	—□— 8
—△— 6	



### 4-3. 水深と舵角

水深が浅くなると、保針のために、より大きな舵角で流体力に対抗しなければならぬことを4-1で知った。例えば、他船を避航する義務を有する等の理由により船がある一定の運動の自由を保持する必要がある場合には、その度合に応じて、保針のための舵力(4-6図参照)に限界を設けなければならない。

このような場合には、 $h/d$ 比の減少(流体力の増加)が船の可航幅に影響を及ぼすことが考えられる。すなわち、運動の自由の確保のために、側壁影響の小さい水路中央寄りに進路を定めなければならないという矛盾が生じる。

ここでは、水深/喫水比( $h/d$ )を2.0～7.0の範囲にとって、 $b/B$ 比4.0～8.0の水路内で、船が運動をどの程度制御できるかを調べた。但し舵角は $7.5^\circ$ 、 $15.0^\circ$ 、 $35.0^\circ$ とする。

(4-6図)は舵角と操舵時間(頻度)によって得られる運動の制御力を舵力と仮に呼び、その割合を表にしたもので



ある。但し、舵力は舵角に直線的に比例するものとする。

計算によって、Appendix IV に示すような、水深、幅員と船体運動の結果を得た。(IV表) には、各条件での船の Sway 幅の最大値、Sway 幅が最大になった時の縦( $x_0$ )方向の距離、及び操舵頻度を示してある。

この計算結果を舵角の大きさに整理する。  
○舵角  $\delta = 7.5^\circ$  の場合 (4-7図)

自船のもつ舵力の 21% 以下の能力で操舵することになる。計算結果 (IV-1~7表) によると、船が水路中央から僅かでも片寄った進路をとると、操舵時間 (頻度) が 90% 以上になり、航行中殆んど当て舵を取っていかねばならないことが分る。しかし、舵力そのものは小さく、運動の自由度は大きいので、操舵頻度は除いて考える。

最大舵力の 21% 以下の舵力で操舵する場合には (4-7図) に示すように、水深が浅くなると共に可航幅が狭くなる。例えば  $b/B$  比が 8.0 の水路で、水深の影響が小さい場合には、片側で

2.6 B の可航幅が許されるのに対し、水深が喫水の2倍になると、可航幅は  $1.0 B$  になり、それ以上側壁に近い進路をとると、Sway 幅が操船限界線を越えてしまう。

○舵角  $\delta = 15.0^\circ$  の場合 (4-8 図, 4-9 図)  
舵力は 43% までの範囲になる。この程度に保針のためだけに舵力を費やすことが可能ならば、 $h/d$  比が 3.0 付近までは操船限界内で、任意の進路を選択できる。但し、操舵頻度は (4-8 図) に示すように増加する。(4-9 図) には  $h/d$  が 2.0 の時の、各々の進路 ( $0.2 \leq y/B \leq 2.6$ ) に対する Sway 幅と操舵頻度を示した。

○舵角  $\delta = 35.0^\circ$  の場合 (4-10 図)

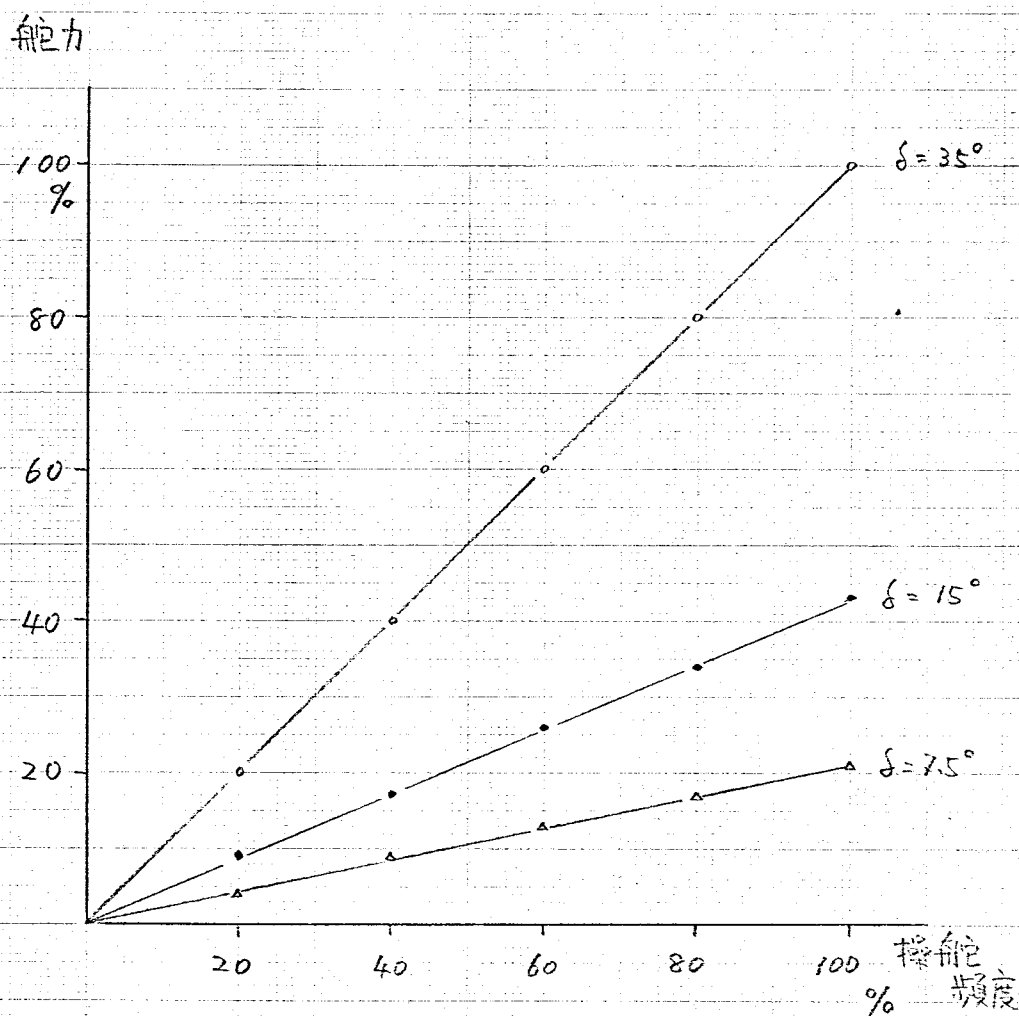
舵力が  $0 \sim 100\%$  の範囲では、水深が喫水の2倍に減っても、 $y/B$  が  $4.0 \sim 8.0$  の水路内で船の Sway 幅を  $0.6 B$  程度に収めることができる。但し (4-10 図) に示すように水深が浅い水路では、操舵時間が長くなることが分る。

以上のように、水深が減少するに従って、船の運動の自由は拘束される。この計算

例から、ひとつの結論を導びくことは困難であるが、自船の運動性能と水路環境を比較することにより、進路を決めるための目安となると思う。また、水深の浅い水路内では、短い時間を区切って、大舵角による保針が、操船上有利であることが分る。

$\delta = 7.5^\circ \sim 35.0^\circ$  の範囲での舵力

4-6 ㊦

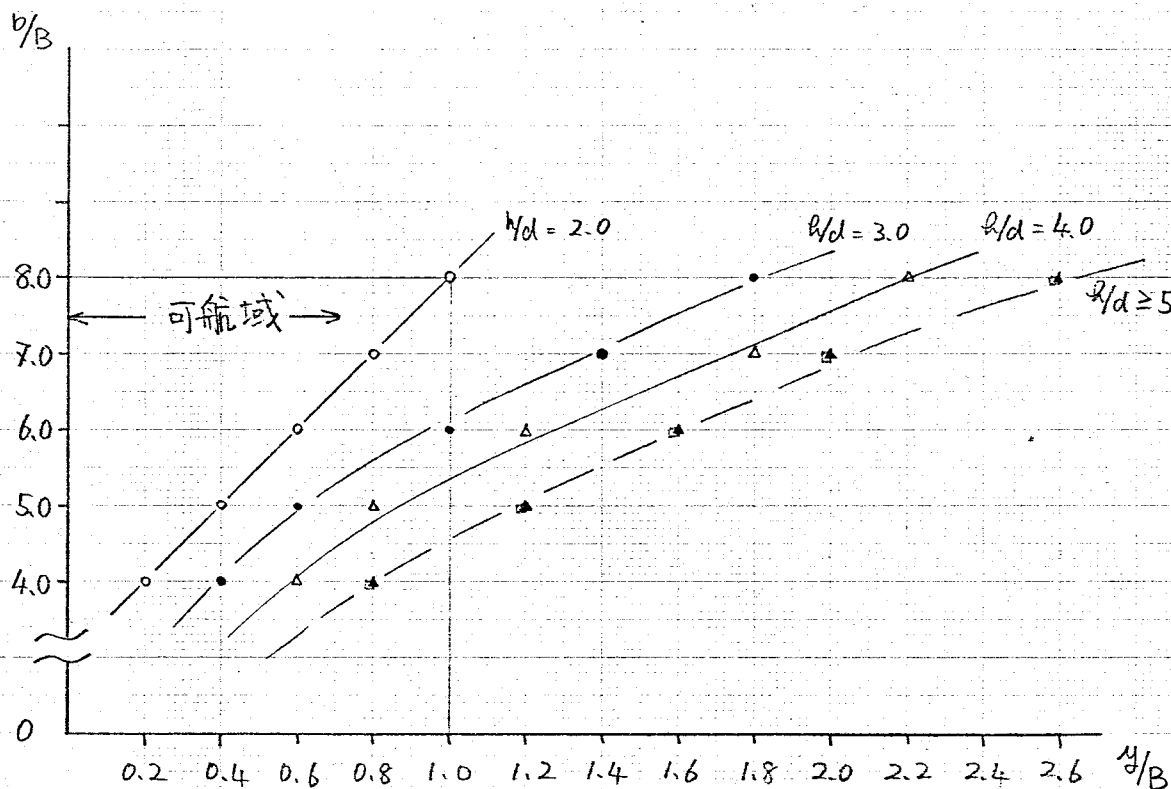


$\delta$
—△— $7.5^\circ$
—●— $15.0^\circ$
—○— $35.0^\circ$

舵力は舵角  $\delta = 35^\circ$  で  
操舵頻度が100%の場  
合を100として  $\delta = 35.0^\circ$   
 $15.0^\circ$ ,  $7.5^\circ$  の時の割合で  
示してある。

$$\delta = 7.5^\circ$$

4—7 図



	$h/d$
—○—	2.0
—●—	3.0
—△—	4.0
—▲—	5.0
—□—	6.0

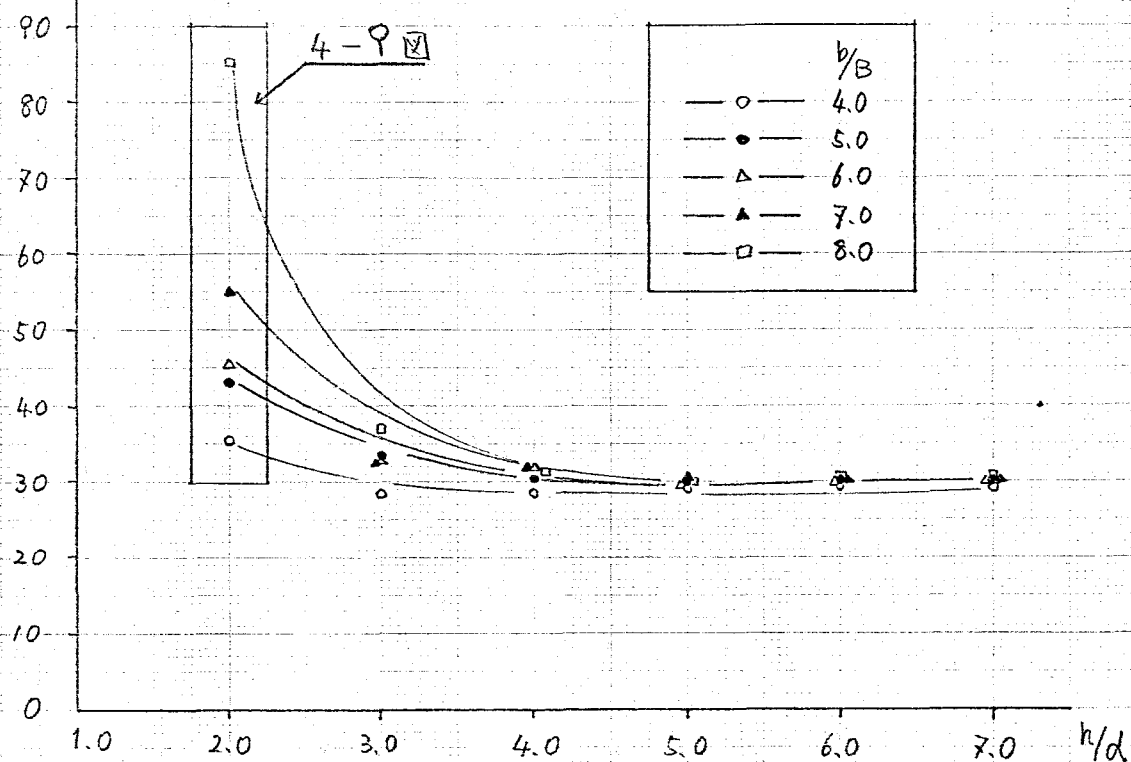
縦軸は(水路幅/船幅)比,  
横軸は進路(中央からの距離/船幅),  
を各々表わす。

舵角  $\delta = 7.5^\circ$  の時は舵力 そのものが小さいので、操舵頻度は省略した。

この表で 破線は水深の影響がない場合の可航範囲を表わす。幅員及び水深が変わった場合の可航域は縦軸から、任意の  $h/d$  (水深/喫水) の曲線までの距離となる。

$\delta = 15.0^\circ$   
Sway 幅 (m)

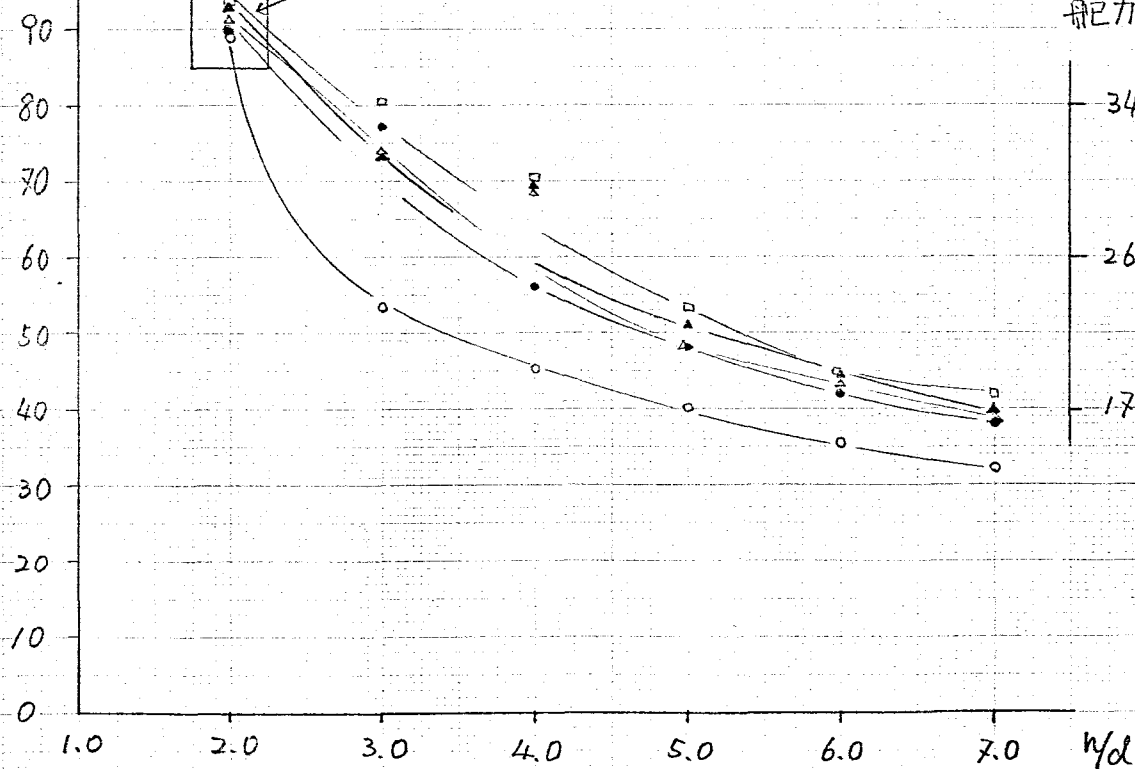
4-8 図



操舵頻度 (%)

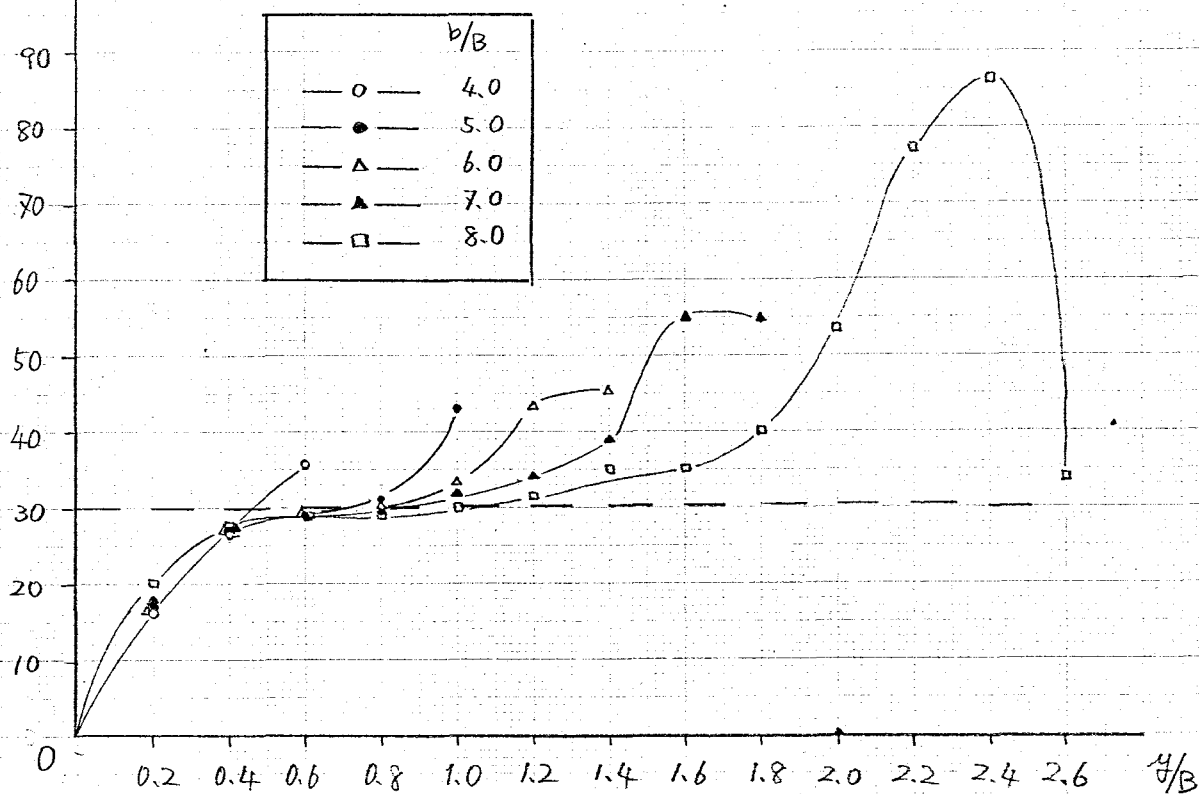
4-9 図

舵力 (%)

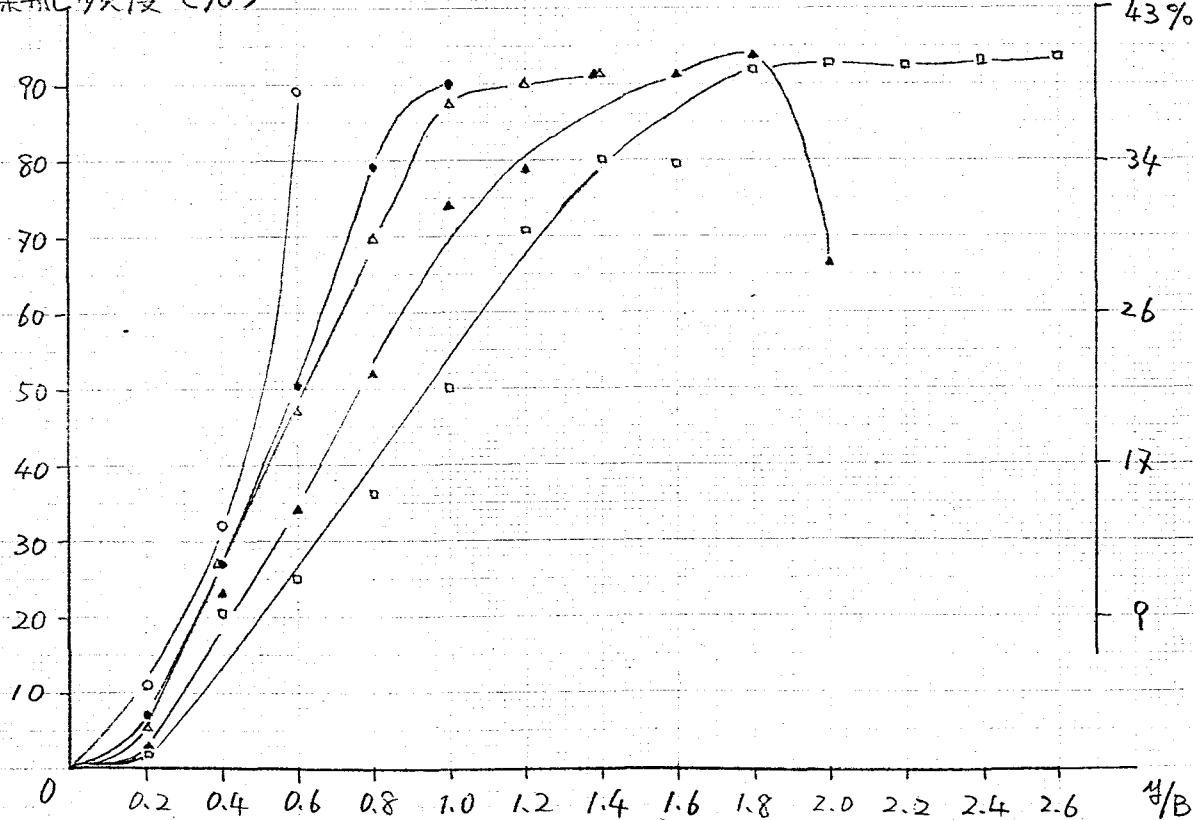


4-9 図

sway 幅 (m)

 $\delta = 15.0, h/d = 2.0$ 

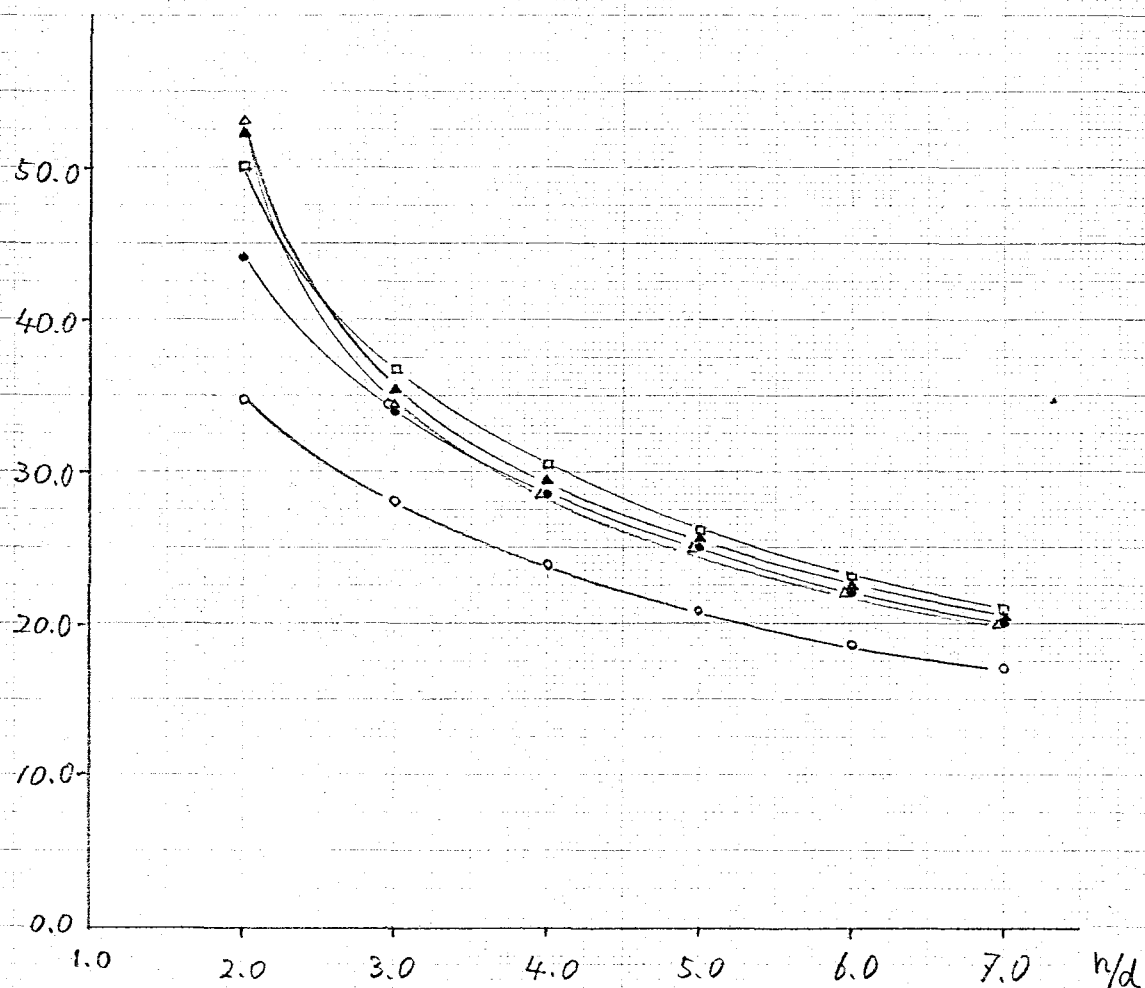
操舵頻度 (%)

舵力  
43%

$\delta = 35.0^\circ$ 

4-10

操船頻度 (%)



	b/B
—○—	4.0
—●—	5.0
—△—	6.0
—▲—	7.0
—□—	8.0

舵角  $\delta \in 35.0^\circ$  にとると

Sway 幅は全ての場合

0.6 B 程度の範囲に収

まる。



## 5. おわりに.

操船の立場から、側壁影響のある制限水路内を航行する船の運動を調べた結果、断面が矩形の水路内で外力として側壁影響のみを受ける場合には、

(1) 一般に船体は水路中央方向へ運動するような流体力を側壁から受ける。

(2) 側壁から船幅程度の距離が保針の限界線となる。

(3) 航路(可航範囲)内で保針を目的とする最適な操舵を行なっても、船体は水路の中央方向へ運動し、船幅の1.2倍程度の占有幅を必要とする。

(4) 船が水路の片側のみを航行するには、他に妨げとなる要素が存在しない場合でも、船幅の2倍以上の水路幅を必要とする。

ことを知った。

制限水路内の、定められた航路に沿って船舶が航行する場合に、その航行の自由を妨げる要素は多く挙げられる。

側壁影響はその一例にすぎないし、本稿で扱った水路もまた特殊な例である。

実際の水路では、他の様々な要素が重なって、より厳しい環境に航行船舶が置かれている場合も少なくないであろう。このような水路内では、可能な限り、安定した船体の運動が得られる進路を選択すべきであるし、また同時に、その様な選択が容易な航路、航法となるための配慮がなされなければならぬと考える。

## 謝辞

この論文の作成に当たり、全般を通じて終始温かい指導を賜った東京商船大学 岩井聡教授、計算法に関し御教示戴いた 大津皓平、庄司邦明両助教授、並びに実験で大変お世話になった 亀田久治教官に心から御礼申しあげます。

## 参考文献

(1) Principles of Naval Architecture SNAME

14.3 Course-keeping in Restricted Waters

(2) 小川陽弘、外力を受ける船の操縦運動

の計算(その1)、日本造船学会論文集

No. 126 P107~120

## APPENDIX - I

## (実験装置外観)

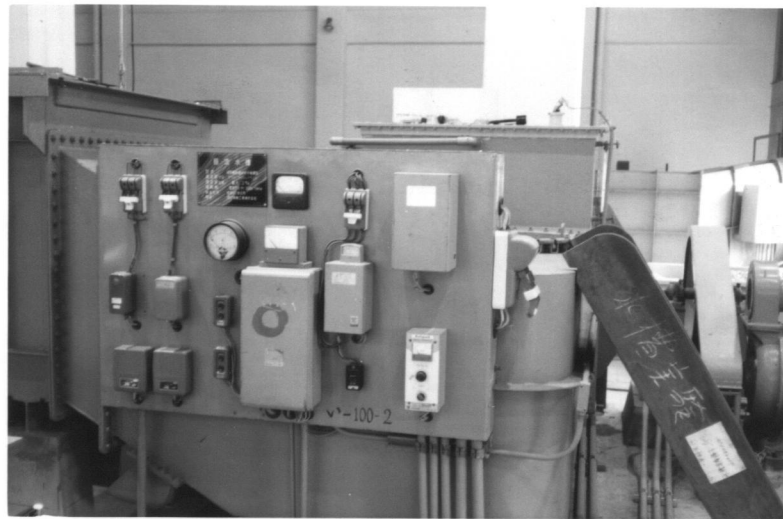
- |               |     |
|---------------|-----|
| 1. 回流水槽       | i   |
| 2. 模型船        | ii  |
| 3. 三分力計       | iii |
| 4. 強制ヨーイング装置  | iv  |
| 5. 流速計<br>抵抗器 | v   |

# 1. 回流水槽

①



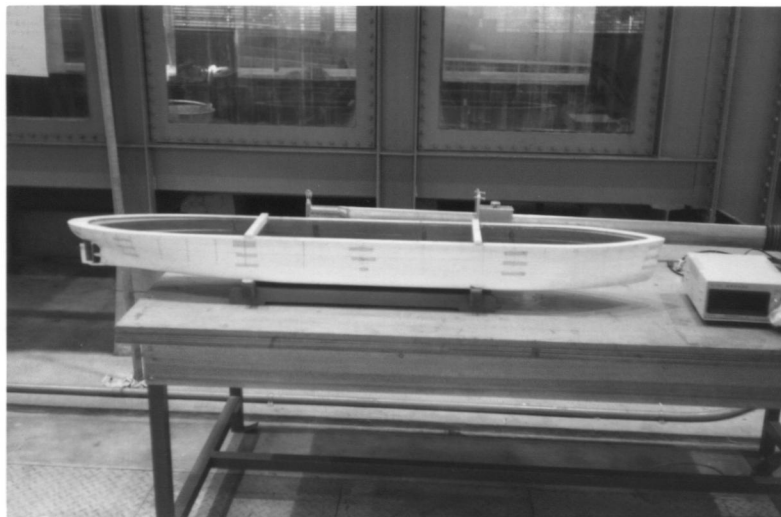
②



① 回流水槽 測定部

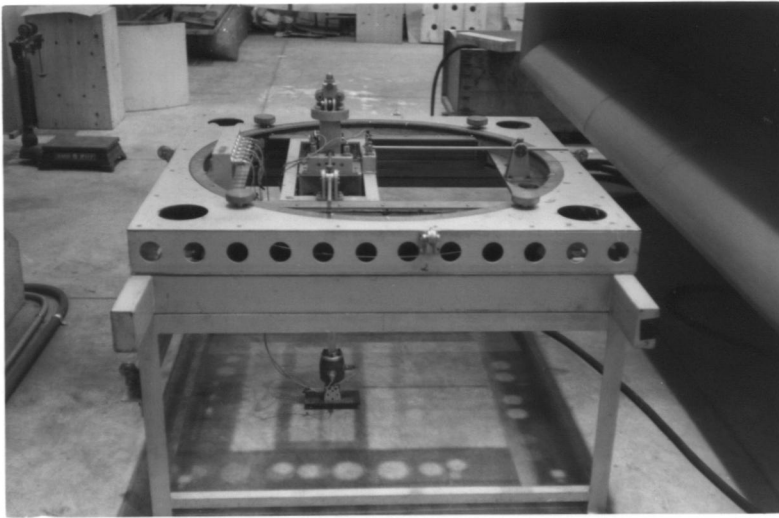
② 同 制御盤

## 2. 模型船



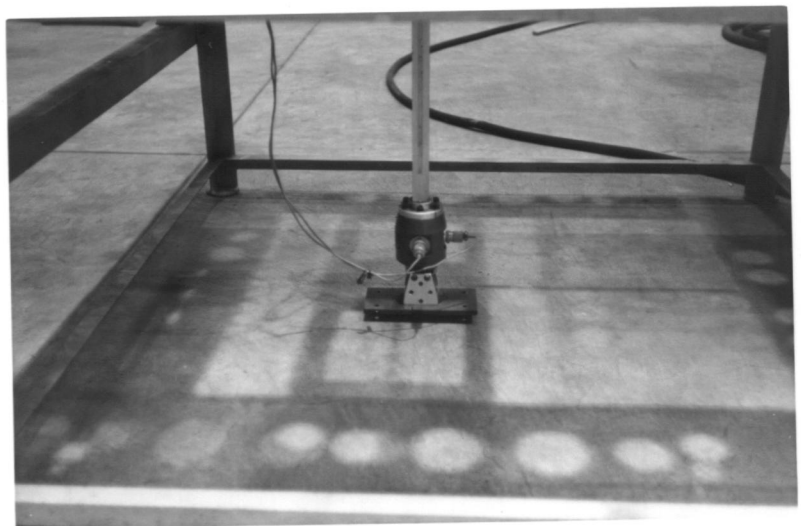
### 3. 三分力計

#### ① Gauge



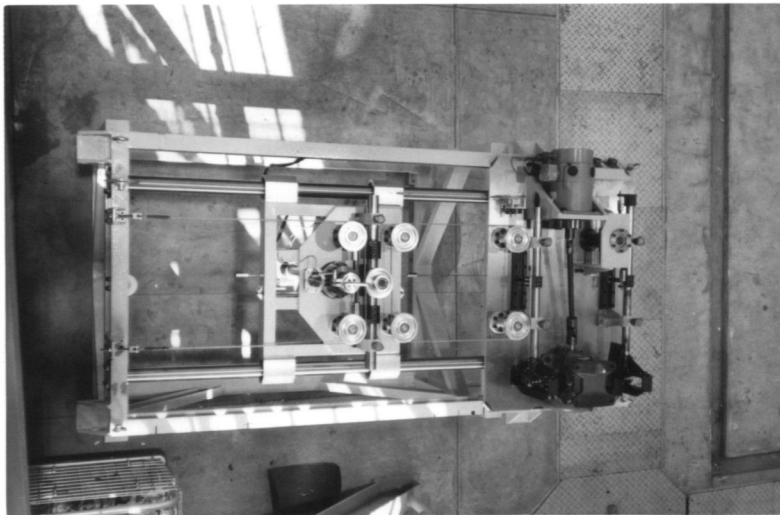
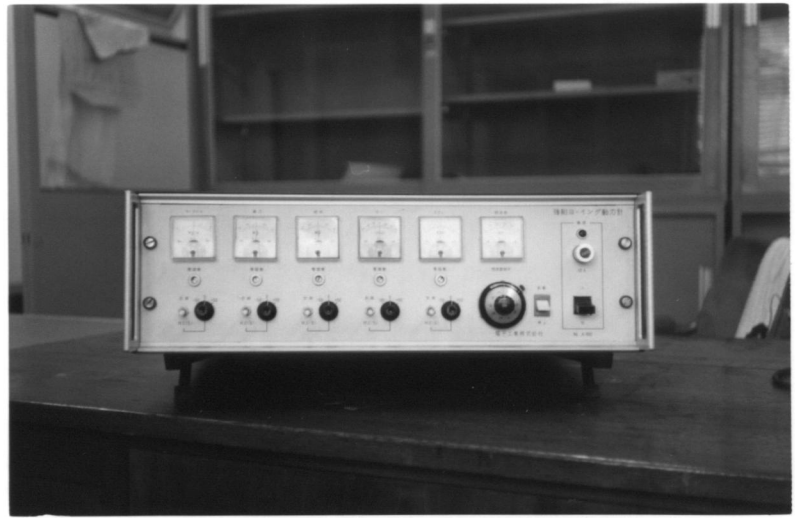
#### ② 検出部

#### ③ センサー



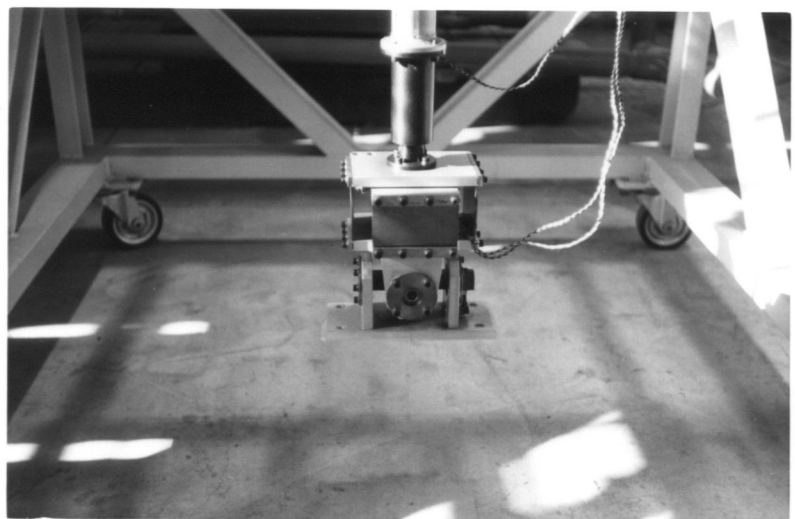
#### 4. 強制ヨーイング装置

##### ① Gauge



##### ② 検出部

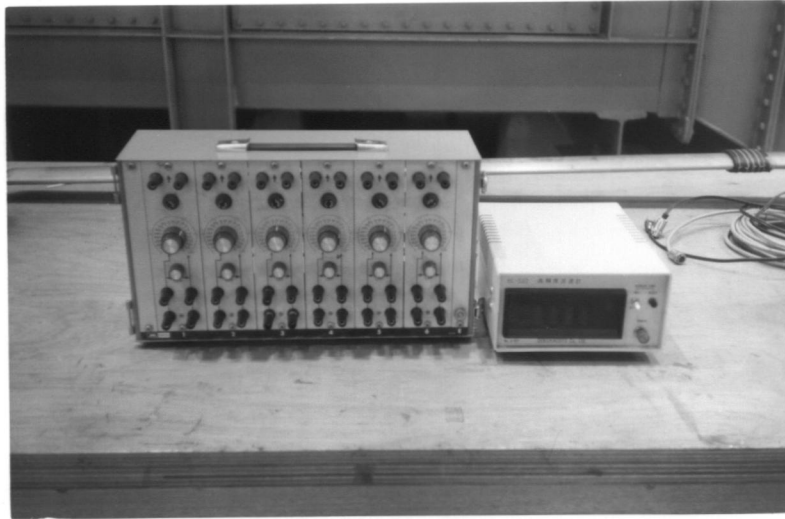
##### ③ センサー



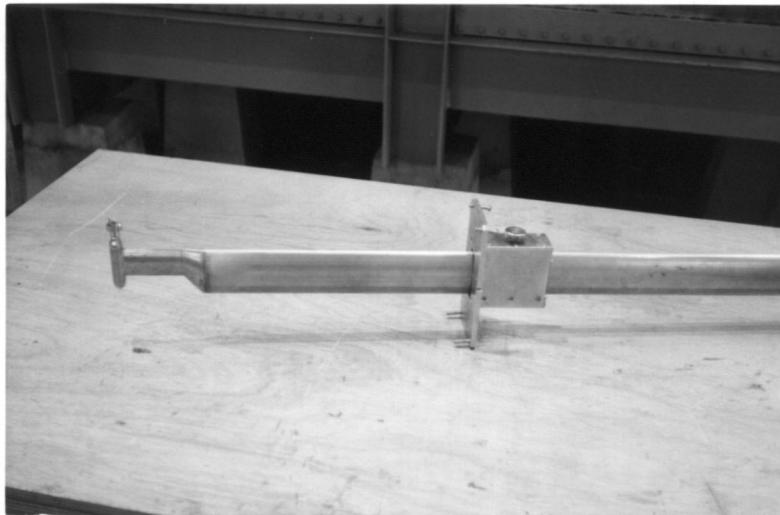


## 5. 流速計. 抵抗器

①



②



① 右 流速計 Gauge

左 抵抗器

② 流速計 検出部

## APPENDIX - II

(運動方程式)

船に固定された座標系で、船の運動は次の方程式で表わされる。

$$X = m(\dot{u} - vr) \quad \text{surge equation} \quad (1a)$$

$$Y = m(\dot{v} + ur) \quad \text{sway equation} \quad (1b)$$

$$N = I_z \dot{r} \quad \text{yaw equation} \quad (1c)$$

Surge力, Sway力及びYawモーメントは船の運動の速度と加速度の函数として表わされる。

$$X = F_x(u, v, r, \dot{u}, \dot{v}, \dot{r}) \quad (2a)$$

$$Y = F_y(u, v, r, \dot{u}, \dot{v}, \dot{r}) \quad (2b)$$

$$N = F_N(u, v, r, \dot{u}, \dot{v}, \dot{r}) \quad (2c)$$

(2)式で表わされる函数が連続でかつ線形であるとする。 (2b)式はテーラー展開によつて、

$$Y = F_y(u_1, v_1, r_1, \dot{u}_1, \dot{v}_1, \dot{r}_1) + \frac{\partial Y}{\partial u}(u - u_1) + \frac{\partial Y}{\partial v}(v - v_1) + \dots + \frac{\partial Y}{\partial r}(r - r_1), \quad (2b')$$

と表わされる。但し添字1は初期の値であることを示す。また展開式の2次以上の項及び連成項は、その値が小さくなるものとして無視した。

船が直進している場合には、

$$\dot{u}_1 = \dot{v}_1 = \dot{r}_1 = \dot{r}_1 = 0$$

である。また船がx-z平面で対称であることから、

$$v_1 = 0, \quad \frac{\partial Y}{\partial u} = \frac{\partial Y}{\partial \dot{u}} = 0$$

更に、船が直線運動中に釣り合い状態にあれば、

$$F_y(u, v, r, \dot{u}, \dot{v}, \dot{r}) = 0$$

となることから (2b) 式は

$$Y = \frac{\partial Y}{\partial v} v + \frac{\partial Y}{\partial \dot{v}} \dot{v} + \frac{\partial Y}{\partial r} r + \frac{\partial Y}{\partial \dot{r}} \dot{r} \quad (3b)$$

のように項の数を減らすことができる。

Surge 力  $X$  及び Yaw モーメント  $N$  に関して、同様の方法で整理すると、

$$X = \frac{\partial X}{\partial \dot{u}} \dot{u} + \frac{\partial X}{\partial u} \Delta u + \frac{\partial X}{\partial v} v + \frac{\partial X}{\partial \dot{v}} \dot{v} + \frac{\partial X}{\partial r} r + \frac{\partial X}{\partial \dot{r}} \dot{r} \quad (3a')$$

$$N = \frac{\partial N}{\partial v} v + \frac{\partial N}{\partial \dot{v}} \dot{v} + \frac{\partial N}{\partial r} r + \frac{\partial N}{\partial \dot{r}} \dot{r} \quad (3c)$$

と表わされる。ここで  $x$ - $z$  平面で船が対称であることから

$$\frac{\partial X}{\partial \dot{v}} = \frac{\partial X}{\partial r} = \frac{\partial X}{\partial \dot{r}} = 0$$

を得る。従って (3a') 式は

$$X = \frac{\partial X}{\partial \dot{u}} \dot{u} + \frac{\partial X}{\partial u} \Delta u \quad (3a) \quad \Delta u = u - u_1$$

と書くことができる。

ここで  $\ddot{u}$ ,  $\Delta u$  を無視し. 表記法を

$$\partial Y / \partial v \equiv Y_v, \quad \partial Y / \partial \dot{v} = Y_{\dot{v}}, \quad \dots$$

のように改め. 更に 舵による制御力と側壁から受ける流体力を

$$Y_\delta \delta, N_\delta \delta, \quad Y_w, N_w$$

として. それぞれ (3b), (3c) 式に付け加えると. (但し 2(a) 式の右辺は 0 にする)

$$X = 0,$$

$$Y = Y_v \cdot v + Y_{\dot{v}} \cdot \dot{v} + Y_r \cdot r + Y_{\dot{r}} \cdot \dot{r} + Y_\delta \delta + Y_w, \quad (4)$$

$$N = N_v \cdot v + N_{\dot{v}} \cdot \dot{v} + N_r \cdot r + N_{\dot{r}} \cdot \dot{r} + N_\delta \delta + N_w,$$

を得る. (1) 式に (4) 式を代入すると.

$$m(\ddot{u} - v r) = 0$$

$$m(\ddot{v} + u r) = Y_v v + Y_{\dot{v}} \dot{v} + Y_r r + Y_{\dot{r}} \dot{r} + Y_\delta \delta + Y_w \quad (5)$$

$$I_3 \ddot{r} = N_v v + N_{\dot{v}} \dot{v} + N_r r + N_{\dot{r}} \dot{r} + N_\delta \delta + N_w$$

更に (5) 式を整理すると.

$$\ddot{u} = v r$$

$$\ddot{v} = \frac{1}{m - Y_{\dot{v}}} \left\{ Y_v v + (Y_r - m u) r + Y_{\dot{r}} \dot{r} + Y_\delta \delta + Y_w \right\} \quad (6)$$

$$\ddot{r} = \frac{1}{I_3 - N_{\dot{r}}} \left\{ N_v v + N_{\dot{v}} \dot{v} + N_r r + N_\delta \delta + N_w \right\}$$

を得る.

## APPENDIX - II

(計算プログラム)

1.	MAIN PROGRAMME	i
2.	SUBROUTINE DATA 1	iv
3.	" DATA	v
4.	" CANAL	vi
5.	" STEER	vii
6.	SUBROUTINE SHIP ARC	viii

```

C      MATH.. MODEL ON WALL EFFECT (MAIN PROGRAMME)
0001      IMPLICIT REAL(N)
0002      REAL IZNRD, IZNRD1, MYVD, MYVD1
0003      DIMENSION CL(5,16), CN(5,16)
C      DIMENSION OF SHIP
0004      WRITE(6,690)
0005      READ (5,510)SL,SB,SDR,SD1,USHIP,SCALE,DELTA,DLAG
0006      WRITE(6,608)
0007      WRITE(6,610)SL,SB,SDR,SD1,USHIP,SCALE,DELTA,DLAG
C      DERIVATIVES OF SHIP
0008      READ (5,511)YV1,YRMU1,YD1,MYVD1,NV1,NR1,ND1,IZNRD1
0009      WRITE(6,609)
0010      WRITE(6,611)YV1,YRMU1,YD1,MYVD1,NV1,NR1,ND1,IZNRD1
C      DATA ON CANAL & STEER
0011      READ (5,512)ISTEER,ITMAX,MGO,MCD,CANWID,BAND,XMAX,CANDEP
0012      WRITE(6,612)
0013      WRITE(6,613)ISTEER,ITMAX,MGO,MCD,CANWID,BAND,XMAX,CANDEP
C      INPUT CL & CN
0014      II=5
0015      JJ=16
0016      WRITE(6,607)
0017      READ (5,500)((CL(I,J),J=1,JJ),I=1,II)
0018      READ (5,501)((CN(I,J),J=1,JJ),I=1,II)
0019      WRITE(6,600)((CL(I,J),J=1,JJ),I=1,II)
0020      WRITE(6,601)((CN(I,J),J=1,JJ),I=1,II)
C      GENERAL COEF..
0021      PI=3.1415926536
0022      DEG=180.0/PI
0023      RAD=PI/180.0
0024      FMPS=1852.0/3600.0
0025      FMILE=3600.0/1852.0
0026      RHO=104.5
0027      SLM=SL/SCALE
0028      SBM=SB/SCALE
0029      BAND2=BAND/2.0
0030      HBD=CANDEP/SDR
0031      ALPHA1=2.16/7.9-1.1152/7.9**2
0032      ALPHA2=2.16/HBD-1.1152/HBD**2
0033      ALPHA=ALPHA2/ALPHA1
0034      MC=MCD-3
C      COEF.. FOR DIMENSIONALIZATION
0035      C1=0.5*RHO*SL*SDR
0036      C2=C1*SL
0037      C3=0.5*RHO*SL**2
0038      C4=C3*SL
0039      C5=C4*SL
0040      C6=C5*SL
C      COEF.. FOR TIME & REITARATION
0041      IDT=1
0042      ISHIP1=(SL+100.0)/USHIP/FMPS
0043      ISHIP2=5
0044      YMAX=CANWID/2.0-SB
0045      PMAX=6.*RAD
0046      K1N=1
0047      KMAX1=2
0048      YB1=0.2
0049      GO TO (1,2,3,4,5),MC

```

```

0050      1 KMAX=2
0051      YB2=0.4
0052      GO TO 6
0053      2 KMAX=3
0054      YB2=0.6
0055      GO TO 6
0056      3 KMAX=4
0057      YB2=0.8
0058      GO TO 6
0059      4 KMAX=6
0060      YB2=1.2
0061      GO TO 6
0062      5 KMAX=8
0063      YB2=1.6
0064      6 CONTINUE
C      GREAT LOOP
0065      DO 100 K=KIN,KMAX
0066      YI=YB1*K
C      SUB., CANAL
0067      CANLEN=XMAX/SCALE
0068      CANBRE=CANWID/SCALE
0069      BAND1=BAND/SCALE
0070      DO 110 K1=KIN,KMAX1
0071      GO TO (111,112),K1
0072      111 Y=YI*SB+BAND2
0073      GO TO 113
0074      112 Y=(YI+YB2)*SB+BAND2
0075      113 X=0.0
0076      OY=Y
C      INITIAL CONDITION OF SHIP
0077      IT=0
0078      U=USHIP*FMPS
0079      V=0.0
0080      R=0.0
0081      D=0.0
0082      PHI=0.0
C      SMALL LOOP
0083      WRITE(6,691)K,K1
0084      40 CONTINUE
0085      IF(ABS( R) .GT. PMAX)GO TO 42
0086      IF(ABS( Y) .GT. YMAX)GO TO 43
0087      IF(X .GT. XMAX )GO TO 41
0088      IF(IT .GT. ITMAX)GO TO 41
C      SUBR., SHIP
C      SUBR., DATA
0089      IF(ABS(Y)-BAND2)200,200,201
0090      200 YY=0.0
0091      GO TO 202
0092      201 IF(Y)65,200,66
0093      65 YY=Y+BAND2
0094      GO TO 202
0095      66 YY=Y-BAND2
0096      202 CONTINUE
0097      CALL DATA1(YY,YW1,NW1,CL,CN,SB,MC,KJUMP)
0098      IF(KJUMP .EQ. 0)GO TO 110
C      ADJUSTMENT FOR DERIVATIVES
0099      YW=YW1*C1*U**2
0100      NW=NW1*C2*U**2
0101      YW=YW*ALPHA
0102      NW=NW*ALPHA
0103      YV=YV1*C3*U

```



```

YRMU=YRMU1*C4*U
YD=YD1*C3*U**2
MYVD=MYVD1*C4
NV=NV1*C4*U
NR=NR1*C5*U
ND=ND1*C4*U**2
IZNRD=IZNRD1*C6
C SUB,, STEER
IF(ISTEER)60,61,60
60 CALL STEER(OY,Y,DELTA,D,SB,DLAG,V,PHI)
GO TO 62
61 D=0.0
62 CONTINUE
C CALCULATION FOR TRAJECTORY
C ACCELERATION OF SHIP
XACC=R*V
YACC=(YV*V+YRMU*R+YD*D+YW)/MYVD
PACC=(NV*V+NR*R+ND*D+NW)/IZNRD
C VELOCITY OF SHIP
U=U+XACC*IDT
V=V+YACC*IDT
R=R+PACC*IDT
C POSITION OF SHIP
X=X+(U*COS(PHI)-V*SIN(PHI))*IDT
Y=Y+(U*SIN(PHI)+V*COS(PHI))*IDT
PHI=PHI+R*IDT
DPHI=PHI*DEG
DR=R*DEG
C RUDDER ANGLE
IF(ISTEER)31,30,31
30 RUDDER=(D1+D2+D3+D4+D5+D6)*DEG
GO TO 32
31 RUDDER=D*DEG
32 CONTINUE
IF(MOD(IT,ISHIP2).NE.0)GO TO 90
WRITE(6,692)IT,YW1,NW1,U,V,DR,X,Y,DPHI,RUDDER
90 CONTINUE
IT=IT+IDT
GO TO 40
42 WRITE(6,693)IT,YW1,NW1,U,V,DR,X,Y,DPHI,RUDDER
WRITE(6,642)
GO TO 41
43 WRITE(6,694)IT,YW1,NW1,U,V,DR,X,Y,DPHI,RUDDER
WRITE(6,643)
41 CONTINUE
110 CONTINUE
100 CONTINUE
STOP
510 FORMAT(8F10.0)
511 FORMAT(8F10.0)
512 FORMAT(4I10,4F10.0)
500 FORMAT(8F10.0)
501 FORMAT(8F10.0)
610 FORMAT(1H,8G15.7)
611 FORMAT(1H,8G15.7)
612 FORMAT(1H0,50HDATA(ISTEER,ITMAX,MGO,MCD,CANWID,BAND,XMAX,CANDEP) )
613 FORMAT(1H,4I10,4G15.7 )
600 FORMAT(1H,8G15.7)
601 FORMAT(1H,8G15.7)
608 FORMAT(1H0,42HDATA(SL,SB,SDR,SDI,USHIP,SCALE,DELTA,DLAG) )
609 FORMAT(1H0,44HDATA(YV1,YRMU1,YD1,MYVD1,NV1,NR1,ND1,IZNRD1) )

```

```

690 FORMAT(1H0,10X,28HWALL EFFECT (MODEL TEST RUN)//      )
607 FORMAT(1H0,21HDATA CL(1-8),CN(9-16)      )
691 FORMAT(1H1, 13HRUNNING NO K=,I3,5H, K1=,I3/1X,4HTIME,12X,3HYW1,12X
&,3HNW1,14X,1HU,14X,1HV,4X,6HR(DEG),14X,1HX,14X,1HY,2X,8HPHI(DEG),4
&X,11HRUDDER(DEG)      )
642 FORMAT(1H0, 52HR,GT,ABS(6DEGREE). STOP WITH NO FURTHER CALCULATI
&ON      )
643 FORMAT(1H0,49HY,GT,ABS(YMAX). STOP WITH NO FURTHER CALCULATION )
692 FORMAT(1H ,I5,4G15.7,F10.3,2G15.7,F10.3,G15.7)
693 FORMAT(1H ,I5,4G15.7,F10.3,2G15.7,F10.3,G15.7)
694 FORMAT(1H ,I5,4G15.7,F10.3,2G15.7,F10.3,G15.7)
END

```

```

C      SUB.,DATA1 CL,CN (CANWID/SB=VAR)
      SUBROUTINE DATA1(Y,YW1,NW1,CL,CN,SB,MC,K)
      REAL NW1
      DIMENSION CL(5,16), CN(5,16)
      K=5
      Y1=ABS(Y)
      C1=Y1/SB
      C2=C1/0.2
      J1=IFIX(C2)
      JJ=J1+1
      CY1=CL(MC,JJ+1)-CL(MC,JJ)
      CY2=C2-FLOAT(J1)
      YW1=CL(MC,JJ)+CY1*CY2
      CN1=CN(MC,JJ+1)-CN(MC,JJ)
      CN2=CY2
      NW1=CN(MC,JJ)+CN1*CN2
      IF(CY1.EQ.0.0 .OR. CN1.EQ.0.0)K=0
      IF(Y)20,21,21
20  YW1=-YW1
      NW1=-NW1
21  RETURN
      END

```

ATA SIZE = 70, PROCEDURE SIZE = 391  
 0 DIAGNOSTICS GENERATED (DATA1 )  
 ND OF COMPILATION (DATA1 )

```

0001      SUBROUTINE DATA(Y,PHI,YW1,NW1,CL,CN,B)
0002      REAL NW1
0003      INTEGER CD,CE
0004      DIMENSION CL(10,10),CN(10,10)
0005      Y1=Y/B
0006      PHI1=PHI
0007      DY=0.2
0008      PI=3.1415926536
0009      DP=2.0*PI/180.
0010      IF(Y.LT.0.0)Y1=-Y1
0011      IF(Y1)15,18,16
0012      18 IYD=1
0013      YY=0.
0014      GO TO 19
0015      15 CE=5
0016      GO TO 17
0017      16 CE=1
0018      17 CONTINUE
0019      YD=ABS(Y1)/DY
0020      IYD=YD+CE
0021      YY=(YD-IYD+CE)
0022      19 IF(Y.LT.0.0)PHI1=-PHI1
0023      IF(PHI1)10,13,11
0024      13 IPD=1
0025      PP=0.
0026      GO TO 14
0027      10 CD=5
0028      GO TO 12
0029      11 CD=1
0030      12 CONTINUE
0031      PD=ABS(PHI1)/DP
0032      IPD=PD+CD
0033      PP=(PD-IPD+CD)
0034      14 CONTINUE
0035      A1=CL(IPD,IYD)
0036      A2=CL(IPD,IYD+1)
0037      A3=CL(IPD+1,IYD)
0038      A4=CL(IPD+1,IYD+1)
0039      CL1=A1+((A2-A1)*YY)
0040      CL2=A3+((A4-A3)*YY)
0041      YW1=CL1+((CL2-CL1)*PP)
0042      B1=CN(IPD,IYD)
0043      B2=CN(IPD,IYD+1)
0044      B3=CN(IPD+1,IYD)
0045      B4=CN(IPD+1,IYD+1)
0046      CN1=B1+((B2-B1)*YY)
0047      CN2=B3+((B4-B3)*YY)
0048      NW1=CN1+((CN2-CN1)*PP)
0049      IF(Y)20,21,21
0050      20 YW1=-YW1
0051      NW1=-NW1
0052      21 RETURN
0053      END

```

```

991 DATA SIZE = 106. PROCEDURE SIZE = 727
994 NO DIAGNOSTICS GENERATED (DATA )
996 END OF COMPILATION (DATA )

```

```

0001      SUBROUTINE CANAL(N,SCALE,SL,SB,CAL,CAB,BAND,SYM9)
0002      SCL=-0.5*SL/SCALE-1.0
0003      ECL=CAL+0.5
0004      HIGHT=0.49
0005      HCAB=CAB/2.0
0006      HCAL=CAL/2.0
0007      SYM1=HCAB+0.5
0008      SYM2=-HCAB-2.5
0009      DEL1=SCALE
0010      SYM3=-HCAB-0.7
0011      SYM4=SCL-1.0
0012      SYM5=-HCAB*SCALE
0013      SYM9=CAL+15.0
0014      HB=BAND/2.0
0015      CALL PLOT(SCL,0.0, 3)
0016      CALL PLOT(CAL,0.0, 2)
0017      CALL SYMBOL(ECL,HIGHT,HIGHT,2HCL,-90.0, 2)
0018      CALL PLOT(CAL,HCAB, 3)
0019      CALL PLOT(SCL,HCAB, 2)
0020      CALL SYMBOL(HCAL,SYM1,0.49,4HWALL,0.0, 4)
0021      CALL AXIS(0.0,SYM2,3H(M),3,CAL,0.0,0.0,DEL1)
0022      CALL PLOT(CAL,-HCAB, 3)
0023      CALL PLOT(SCL,-HCAB, 2)
0024      CALL SYMBOL(HCAL,SYM3,0.49,4HWALL,0.0, 4)
0025      CALL AXIS(SYM4,HCAB,4HY(M),-4,CAB,-90.0,SYM5,SCALE)
0026      CALL PLOT(0.0,0.0,3)
0027      IF(N.EQ.0)GO TO 10
0028      CALL PLOT(SCL,HB, 3)
0029      CALL PLOT(CAL,HB, 2)
0030      CALL PLOT(CAL,-HB, 3)
0031      CALL PLOT(SCL,-HB, 2)
0032      10 CONTINUE
0033      CALL PLOT(0.0,0.0, 3)
0034      RETURN
0035      END

```

```

91 DATA SIZE = 191, PROCEDURE SIZE = 584
94 NO DIAGNOSTICS GENERATED (CANAL)
96 END OF COMPILATION (CANAL)

```

```

0001      SUBROUTINE STEER(OY,Y,DDEG,DRAD,SB,DLAG,V,PHI)
0002      RAD=3.1415926536/180.0
0003      SB1=SB/2.0
0004      YDISP=OY-Y
0005      PHIMAX= 1.0*RAD
0006      IF(ABS(YDISP) .LT. SB1)GO TO 10
0007      IF(YDISP)20,10,21
0008 20 DRADY=DDEG*RAD
0009      GO TO 11
0010 21 DRADY=-DDEG*RAD
0011      GO TO 11
0012 10 DRADY=0.0
0013 11 CONTINUE
0014      IF(ABS(PHI) .LT. PHIMAX)GO TO 30
0015      IF(PHI)31,30,32
0016 31 DRADP=-DDEG*RAD
0017      GO TO 39
0018 32 DRADP= DDEG*RAD
0019      GO TO 39
0020 30 DRADP=0.0
0021 39 CONTINUE
0022      IF(DRADP)40,41,40
0023 40 DRAD=DRADP
0024      GO TO 42
0025 41 DRAD=DRADY
0026 42 CONTINUE
0027      RETURN
0028      END

```

```

91 DATA SIZE =      66, PROCEDURE SIZE =      319
94 NO DIAGNOSTICS GENERATED (STEER )
96 END OF COMPILATION (STEER )

```

```

0001      SUBROUTINE SHIP (X,Y,P,XL,XB)
0002      PI=3.141593
0003      HEIGHT=XL/20.0
0004      ANGLE=180.0*P/PI
0005      CALL SYMBOL (X,Y,HEIGHT,3,ANGLE,-1)
0006      CCOS=0.5*XL*COS(P)
0007      CSIN=0.5*XL*SIN(P)
0008      XBOX=X+CCOS
0009      YBOX=Y+CSIN
0010      R1=0.25*(XL*XL/XB+XB)
0011      R2=0.5*XL*XL/XB+0.125*XB
0012      RS1=(R1-0.5*XB)*SIN(P)
0013      RC1=(R1-0.5*XB)*COS(P)
0014      RS2=(R2-0.5*XB)*SIN(P)
0015      RC2=(R2-0.5*XB)*COS(P)
0016      XRS1=X+RS1
0017      YRS1=Y-RC1
0018      SITAE=P+0.5*PI
0019      SITAI=SITAE-ATAN(0.5*XL/(R1-0.5*XB))
0020      CALL PLOT (XBOX,YBOX,3)
0021      CALL ARC (R1,XRS1,YRS1,SITAI,SITAE)
0022      XRS2=X+RS2
0023      YRS2=Y-RC2
0024      SITAI=SITAE
0025      SITAE=SITAI+ATAN(0.5*XL/(R2-0.25*XB))
0026      CALL ARC (R2,XRS2,YRS2,SITAI,SITAE)
0027      XRP2=X+RS2
0028      YRP2=Y+RC2
0029      SITAE=P-0.5*PI
0030      SITAI=SITAE-ATAN(0.5*XL/(R2-0.25*XB))
0031      CALL ARC (R2,XRP2,YRP2,SITAI,SITAE)
0032      XRP1=X-RS1
0033      YRP1=Y+RC1
0034      SITAI=SITAE
0035      SITAE=SITAI+ATAN(0.5*XL/(R1-0.5*XB))
0036      CALL ARC (R1,XRP1,YRP1,SITAI,SITAE)
0037      RETURN
0038      END

```

```

0001      SUBROUTINE ARC (RA,XC,YC,SITAI,SITAE)
0002      SITA=SITAI
0003      DSITA=0.01/RA
0004      10 CONTINUE
0005      DEF=SITA-SITAE
0006      IF (DEF) 11,12,12
0007      11 X=XC+RA*COS(SITA)
0008      Y=YC+RA*SIN(SITA)
0009      CALL PLOT (X,Y,2)
0010      SITA=SITA+DSITA
0011      GO TO 10
0012      12 CONTINUE
0013      RETURN
0014      END

```

## APPENDIX - IV

(幅員と水深の異なる水路での  
船体運動の計算結果)

。 舵角  $\delta = 7.5^\circ$  (1) 頁

。 "  $\delta = 15.0^\circ$  (7) "

。 "  $\delta = 35.0^\circ$  (13) "

(1)

$\delta$ (deg)	$h/d$	$b/B$	$y/B$	Sway 幅	$x_0/L$	可航幅	操舵頻度
7.5	2.0	4.0	0.2	14.9 m	9.1	B	21.4 %
			0.4	70.9	8.3		92.4
			0.6	80.2	3.4		90.2
			0.8	90.4	6.2		87.1
		5.0	0.2	15.4 m	4.3		14.7
			0.4	26.4	9.0		37.6
			0.6	100.2	9.7		93.2
			0.8	83.1	4.0		90.4
			1.0	120.1	4.3		91.5
			1.2	130.7	6.8		88.2
		6.0	0.2	17.7	4.7		9.6
			0.4	26.0	9.7		28.8
			0.6	47.4	8.8		90.9
			0.8	126.4	10.1		94.0
			1.0	97.2	4.3		91.0
			1.2	130.8	4.8		92.2
			1.4	126.4	4.9		91.3
			1.6	170.1	7.4		89.2
		7.0	0.2	19.0	5.5		5.6
			0.4	27.5	5.8		29.5
			0.6	28.8	7.6		58.5
			0.8	50.5	3.8		89.2
			1.0	80.0	10.2		93.2
			1.2	106.6	4.7		91.6
			1.4	138.4	5.0		92.2
			1.6	177.0	5.3		93.1
			1.8	200.7	5.2		91.8
			2.0	211.2	5.7		90.4
		x	2.2	220.6	9.1		81.2
		x	2.4	—	—		—
		8.0	0.2	20.3	5.9		3.5
			0.4	27.8	6.4		21.9
			0.6	29.5	5.8		39.6
			0.8	29.2	7.6		60.3
			1.0	44.7	4.0		88.1
			1.2	70.8	4.5		90.8
			1.4	101.4	4.9		91.7
			1.6	131.1	5.2		92.5
			1.8	167.4	5.5		92.9



(2)

$\delta$ (deg)	$h/d$	$b/B$	$y/B$	Sway 幅	$x_0/L$	可航幅	操舵頻度
7.5	2.0	8.0	2.0	204.6m	5.7	B	93.5 %
			2.2	248.5	6.0		93.9
			2.4	260.6	5.5		92.6
			2.6	270.6	5.7		89.3
	3.0	4.0	0.2	16.2	4.5		15.9
			0.4	26.1	8.6		44.8
			0.6	60.7	3.8		89.7
			0.8	—	—		—
		5.0	0.2	17.8	4.9		9.7
			0.4	23.3	10.3		14.8
			0.6	33.9	3.5		85.8
			0.8	58.6	9.8		91.6
			1.0	85.0	4.6		90.6
			1.2	—	—		—
		6.0	0.2	18.5	5.2		6.7
			0.4	22.6	6.2		18.8
			0.6	30.1	3.4		84.7
			0.8	46.9	4.0		87.6
			1.0	67.8	4.5		90.0
			1.2	93.8	4.9		90.7
			1.4	115.6	5.5		90.7
			1.6	—	—		—
		7.0	0.2	21.1	6.2		3.3
			0.4	28.1	6.0		26.0
			0.6	29.4	5.2		45.8
			0.8	31.9	3.5		85.4
			1.0	49.5	4.2		88.1
			1.2	70.8	4.8		90.0
			1.4	95.2	5.2		91.3
			1.6	124.3	5.5		92.1
			1.8	150.5	6.1		91.7
			2.0	170.6	7.2		90.9
	8.0		0.2	21.8	6.6		2.2
			0.4	27.9	6.7		19.1

(3)

$\delta$ (deg)	$h/d$	$b/B$	$y/B$	Sway 幅	$x_0/L$	可航幅	操舵頻度
7.5	3.0	8.0	0.6	29.4 <sub>m</sub>	6.0	B	33.6 %
			0.8	29.9	5.3		49.0
			1.0	30.8	8.6		69.7
			1.2	41.4	4.1		87.4
			1.4	60.2	4.7		89.5
			1.6	81.8	5.2		90.9
			1.8	110.3	5.7		92.0
			2.0	141.8	5.9		92.4
			2.2	174.4	6.2		93.1
			2.4	205.2	6.7		92.7
			2.6	231.9	7.5		92.1
	4.0	4.0	0.2	18.1	4.9		11.8
			0.4	21.4	10.3		17.8
			0.6	44.3	3.8		88.8
			0.8	41.4	10.3		80.8
		5.0	0.2	19.1	5.3		7.0
			0.4	27.3	5.7		31.4
			0.6	28.6	8.2		55.5
			0.8	39.4	4.0		86.7
			1.0	59.9	4.7		89.0
			1.2	9.0	10.3		76.4
		6.0	0.2	19.9	5.7		4.7
			0.4	27.7	5.7		29.2
			0.6	28.9	9.0		49.1
			0.8	32.0	8.8		74.9
			1.0	44.4	4.4		87.8
			1.2	63.3	5.0		89.6
			1.4	78.1	5.7		89.6
			1.6	5.3	10.3		73.4
		7.0	0.2	21.8	6.6		2.5
			0.4	28.0	6.2		23.0
			0.6	29.3	5.6		39.4
			0.8	30.3	4.9		57.1
			1.0	33.5	9.1		76.8
			1.2	43.8	4.5		87.6

(4)

$\delta$ (deg)	$h/d$	$b/B$	$y/B$	$S_{\text{wave}}$ 幅	$x_0/L$	可航幅	操舵頻度
7.5	4.0	7.0	1.4	60.1 m	5.1	B	89.4 %
			1.6	83.0	5.6		90.7
			1.8	99.5	6.4		90.7
			2.0	105.8	8.1		90.8
		8.0	0.2	23.3	7.3		1.4
			0.4	28.2	7.0		17.5
			0.6	29.3	6.2		29.4
			0.8	29.7	5.7		41.7
			1.0	30.1	5.1		56.6
			1.2	33.6	10.3		72.4
			1.4	35.1	10.3		82.2
			1.6	46.8	4.8		88.4
			1.8	65.7	5.4		90.1
			2.0	87.7	5.9		91.3
			2.2	115.6	6.3		91.9
			2.4	137.5	7.0		91.8
			2.6	153.8	8.1		91.6
	5.0	4.0	0.2	18.4	5.2		9.6
			0.4	27.9	5.7		35.9
			0.6	32.1	3.7		85.8
			0.8	30.9	9.3		73.8
		5.0	0.2	18.8	5.6		5.9
			0.4	28.0	5.8		29.3
			0.6	29.6	5.2		50.0
			0.8	31.7	8.6		71.1
			1.0	38.9	4.9		87.1
			1.2	33.1	10.3		74.2
		6.0	0.2	20.5	6.0		3.8
			0.4	27.9	5.9		27.0
			0.6	29.4	5.2		46.5
			0.8	30.9	9.6		64.7
			1.0	37.1	10.3		77.4
			1.2	37.9	4.6		87.5
			1.4	40.9	5.5		87.9
			1.6	28.4	10.3		71.4
		7.0	0.2	23.0	7.1		1.7
			0.4	28.3	6.4		21.2
			0.6	29.3	5.8		35.1
			0.8	30.0	5.2		50.6

(5)

$\delta$ (deg)	$h/d$	$b/B$	$y/B$	Sway 幅	$x_0/L$	可航幅	操舵頻度
7.5	5.0	7.0	1.0	31.1 m	9.9	B	65.8 %
			1.2	35.4	10.3		75.4
			1.4	33.4	4.5		86.7
			1.6	47.8	5.2		88.8
			1.8	51.6	6.2		89.1
			2.0	36.0	9.0		87.2
		8.0	0.2	23.9	7.8		1.1
			0.4	28.1	7.2		16.1
			0.6	29.3	6.4		26.3
			0.8	29.4	5.9		36.7
			1.0	30.2	5.6		48.5
			1.2	31.1	5.3		60.0
			1.4	33.1	10.3		71.0
			1.6	35.4	10.3		76.6
			1.8	34.4	4.6		87.1
			2.0	46.1	5.3		89.1
			2.2	65.7	6.0		90.4
			2.4	74.7	7.0		90.8
			2.6	71.6	8.5		91.0
	6.0	4.0	0.2	18.7	5.4		8.0
			0.4	28.0	5.9		32.8
			0.6	28.8	8.4		57.0
			0.8	30.4	9.0		64.9
		5.0	0.2	20.1	5.9		4.5
			0.4	28.1	6.0		26.9
			0.6	29.3	5.5		45.1
			0.8	30.7	5.2		61.5
			1.0	34.6	10.3		75.0
			1.2	32.9	9.8		66.9
		6.0	0.2	21.4	6.3		2.9
			0.4	28.1	6.0		24.9
			0.6	29.5	5.5		41.8
			0.8	30.3	5.3		56.1
			1.0	32.3	10.3		69.8
			1.2	32.5	5.2		74.5
			1.4	32.9	6.0		76.3
			1.6	33.2	10.3		66.0
		7.0	0.2	23.7	7.5		1.4
			0.4	28.5	6.5		19.8
			0.6	29.3	6.0		31.6

(6)

$\delta$ (deg)	$h/d$	$b/B$	$y/B$	Sway 幅	$x_0/L$	可航幅	操舵頻度
7.5	6.0	7.0	0.8	29.9 m	5.5	B	44.9 %
			1.0	30.8	5.4		56.7
			1.2	31.7	5.4		65.9
			1.4	32.6	5.5		72.0
			1.6	32.5	5.2		79.1
			1.8	33.3	6.5		79.0
			2.0	30.8	5.4		56.7
		8.0	0.2	25.3	8.5		5.6
			0.4	28.5	7.3		15.1
			0.6	29.3	6.5		24.2
			0.8	29.5	6.1		33.1
			1.0	29.8	5.8		43.3
			1.2	30.7	5.6		52.8
			1.4	31.2	5.5		60.5
			1.6	31.6	5.5		67.2
			1.8	32.9	5.7		72.6
			2.0	33.0	5.6		78.1
			2.2	37.0	10.3		83.2
			2.4	35.9	10.3		82.2
			2.6	33.5	8.6		82.3
	7.0	4.0	0.2	19.6	5.7		6.5
			0.4	28.0	6.1		30.2
			0.6	29.3	5.4		52.9
			0.8	30.3	8.7		58.1
		5.0	0.2	19.8	6.1		4.1
			0.4	28.0	6.1		25.0
			0.6	29.4	5.6		40.7
			0.8	30.5	5.6		55.0
			1.0	31.4	5.6		65.8
			1.2	32.2	9.3		60.1
		6.0	0.2	21.6	6.6		2.5
			0.4	28.0	6.2		23.0
			0.6	29.4	5.7		37.9
			0.8	30.2	5.5		50.3
			1.2	31.4	5.6		59.4
			1.4	31.8	5.7		65.9
			1.6	32.2	6.3		68.0
		7.0	0.2	24.4	7.9		1.0
			0.4	28.3	6.7		18.5
			0.6	29.2	6.2		29.2
			0.8	29.7	5.7		40.9
			1.0	30.4	5.6		51.1

(7)

$\delta$ (deg)	$h/d$	$b/B$	$y/B$	Sway 幅	$x_0/L$	可航幅	操舵頻度
7.5	7.0	7.0	1.2	31.5 m	5.7	B	58.8 %
			1.4	31.8	5.8		64.4
			1.6	31.8	5.8		69.5
			1.8	32.1	6.7		70.6
			2.0	31.9	8.5		67.8
		8.0	0.2	26.4	8.4		7.9
			0.4	28.6	7.5		14.5
			0.6	29.2	6.7		22.6
			0.8	29.5	6.2		30.4
			1.0	29.8	5.9		39.2
			1.2	30.3	5.8		47.7
			1.4	30.9	5.7		54.3
			1.6	31.3	5.7		60.0
			1.8	31.6	5.8		65.0
			2.0	31.5	5.9		69.4
			2.2	32.1	6.1		73.9
			2.4	31.7	6.8		75.2
			2.6	32.2	8.5		73.2
15.0	2.0	4.0	0.2	16.0	4.3		11.2
			0.4	26.4	8.9		32.3
			0.6	35.5	2.9		88.7
			0.8	—	—		—
		5.0	0.2	17.0	4.5		6.9
			0.4	27.0	4.9		27.2
			0.6	29.1	4.1		50.5
			0.8	31.2	7.2		79.2
			1.0	43.2	3.6		89.7
			1.2	—	—		—
		6.0	0.2	16.7	4.6		5.4
			0.4	27.0	9.0		27.1
			0.6	29.2	4.1		47.0
			0.8	30.6	7.8		69.7
			1.0	33.4	10.3		87.4
			1.2	43.3	3.8		90.1
			1.4	45.4	5.1		91.5
			1.6	—	—		—
		7.0	0.2	18.1	5.5		3.0
			0.4	27.5	9.8		22.9
			0.6	28.8	4.8		34.3
			0.8	29.8	4.1		52.0
			1.0	32.0	8.5		73.7
			1.2	34.2	3.8		78.7
			1.4	39.1	4.3		90.8

(8)

$\delta$ (deg)	$h/d$	$b/B$	$y/B$	Sway 幅	$x_0/L$	可航幅	操舵頻度
15.0	2.0	7.0	1.6	55.1 m	4.3	B	91.3 %
			1.8	54.9	5.9		92.7
			2.0	0.4	2.2		66.3
		8.0	0.2	20.3	6.0		1.7
			0.4	27.8	10.3		20.6
			0.6	28.8	5.5		25.0
			0.8	29.0	4.9		36.3
			1.0	29.7	4.4		50.0
			1.2	31.4	9.1		70.8
			1.4	35.0	10.3		80.2
			1.6	34.9	3.9		79.6
			1.8	39.9	4.4		91.1
			2.0	53.6	5.1		92.7
			2.2	76.8	4.9		92.4
			2.4	86.2	5.9		93.0
			2.6	34.0	10.3		93.6
	3.0	4.0	0.2	17.2	4.6		8.0
			0.4	27.0	9.3		30.3
			0.6	28.6	4.4		53.5
			0.8	—	—		—
		5.0	0.2	17.2	4.9		5.1
			0.4	27.4	9.3		27.2
			0.6	29.0	4.6		41.3
			0.8	30.3	4.4		57.2
			1.0	33.4	10.2		77.1
			1.2	—	—		—
		6.0	0.2	18.2	5.2		3.6
			0.4	27.4	5.3		21.3
			0.6	28.9	4.6		38.1
			0.8	30.2	4.4		52.1
			1.0	33.1	9.9		73.9
			1.2	32.5	4.6		68.3
			1.4	32.0	5.4		70.2
			1.6	—	—		—
		7.0	0.2	21.1	6.3		1.7
			0.4	28.0	9.7		23.3
			0.6	28.7	5.2		28.4
			0.8	29.4	4.6		41.7
			1.0	30.3	4.4		53.1
			1.2	33.0	10.0		73.1
			1.4	32.6	4.8		66.4
			1.6	31.6	4.8		71.9
			1.8	31.8	6.1		72.3
			2.0	28.6	10.3		64.4

(9)

$\delta$ (deg)	$h/d$	$b/B$	$y/B$	Sway 幅	$x_0/L$	可航幅	操舵頻度
15.0	3.0	8.0	0.2	20.4 m	6.5	B	1.3 %
			0.4	27.6	6.5		12.7
			0.6	28.7	5.8		21.0
			0.8	28.9	5.3		29.4
			1.0	29.5	4.9		39.8
			1.2	30.4	4.6		48.9
			1.4	30.7	4.5		56.4
			1.6	33.2	10.1		74.0
			1.8	31.9	4.8		67.0
			2.0	33.8	10.3		78.4
			2.2	37.0	10.3		80.4
			2.4	31.5	6.5		76.9
			2.6	27.7	10.3		71.0
	4.0	4.0	0.2	18.3	5.0		5.8
			0.4	27.6	9.6		27.7
			0.6	28.8	4.9		45.2
			0.8	11.9	10.3		40.0
		5.0	0.2	17.3	5.2		4.0
			0.4	27.5	9.9		23.6
			0.6	28.8	4.9		34.9
			0.8	29.7	4.8		47.4
			1.0	30.6	5.0		56.1
			1.2	1.4	10.3		34.8
		6.0	0.2	19.3	5.6		2.6
			0.4	27.7	9.8		23.0
			0.6	28.8	5.0		32.4
			0.8	29.8	4.7		43.2
			1.0	30.6	4.8		51.3
			1.2	31.9	10.3		68.6
			1.4	30.5	5.6		57.7
			1.6	1.1	10.3		34.4
		7.0	0.2	21.8	6.6		1.2
			0.4	27.9	10.1		21.3
			0.6	28.6	5.5		24.4
			0.8	29.2	4.9		35.1
			1.0	29.8	4.8		44.2
			1.2	30.6	4.9		50.6
			1.4	31.9	10.3		68.4
			1.6	31.5	10.2		69.3
			1.8	30.4	6.2		59.3
			2.0	30.3	9.3		55.1
		8.0	0.2	21.6	7.2		0.9
			0.4	27.5	6.8		11.5
			0.6	28.6	5.9		18.8



(10)

$\delta$ (deg)	$h/d$	$b/B$	$y/B$	Sway 幅	$x_0/L$	可航幅	操舵頻度
15.0	4.0	8.0	0.8	28.8 m	5.3	B	25.4 %
			1.0	29.1	5.2		33.4
			1.2	29.8	5.0		40.7
			1.4	30.1	4.8		46.6
			1.6	30.6	5.0		51.2
			1.8	31.1	10.1		67.7
			2.0	31.5	10.2		69.9
			2.2	31.5	10.1		70.3
			2.4	30.7	6.7		62.8
			2.6	29.6	9.5		59.9
	5.0	4.0	0.2	18.8	5.2		4.7
			0.4	27.5	9.8		25.4
			0.6	28.7	5.3		39.2
			0.8	29.3	9.8		39.7
		5.0	0.2	18.9	5.6		3.0
			0.4	27.9	9.6		24.1
			0.6	28.7	5.2		30.4
			0.8	29.5	5.1		41.1
			1.0	30.1	5.3		48.0
			1.2	29.4	10.3		38.8
		6.0	0.2	19.4	5.9		2.1
			0.4	27.7	9.7		23.0
			0.6	28.7	5.2		28.6
			0.8	29.4	5.0		37.8
			1.0	30.2	5.0		43.9
			1.2	30.6	5.3		48.2
			1.4	30.3	5.9		49.3
			1.6	24.2	10.3		34.6
		7.0	0.2	23.2	7.1		0.9
			0.4	28.1	6.3		14.1
			0.6	28.6	5.6		22.0
			0.8	28.9	5.1		30.5
			1.0	29.6	5.0		38.1
			1.2	30.3	5.1		43.4
			1.4	30.5	5.3		46.9
			1.6	30.1	5.5		50.2
			1.8	29.9	6.3		50.7
			2.0	29.8	8.6		47.1
		8.0	0.2	23.9	7.8		0.5
			0.4	27.7	7.0		10.9
			0.6	28.5	6.2		17.1
			0.8	28.7	5.7		22.7
			1.0	29.0	5.4		29.1
			1.2	29.5	5.2		35.3

(11)

$\delta$ (deg)	$h/d$	$b/B$	$y/B$	Sway 幅	$x_0/L$	可航幅	操舵頻度
15.0	5.0	8.0	1.4	29.9 m	5.2	B	40.0 %
			1.6	30.1	5.2		44.0
			1.8	30.3	5.4		47.1
			2.0	30.1	5.6		50.0
			2.2	30.1	5.8		53.0
			2.4	29.6	6.7		53.6
			2.6	29.4	8.8		50.9
	6.0	4.0	0.2	19.5	5.6		3.7
			0.4	27.8	9.8		25.7
			0.6	28.5	5.5		35.2
			0.8	29.3	8.9		35.5
		5.0	0.2	19.2	5.8		2.5
			0.4	27.4	10.1		21.7
			0.6	28.7	5.4		27.2
			0.8	29.4	5.3		36.0
			1.0	30.0	5.5		42.3
			1.2	29.6	9.3		36.4
		6.0	0.2	20.3	6.2		1.7
			0.4	28.0	9.9		22.6
			0.6	28.8	5.4		25.5
			0.8	29.3	5.2		33.3
			1.0	29.9	5.2		38.7
			1.2	30.3	5.4		42.2
			1.4	30.1	6.0		43.3
			1.6	29.6	9.9		35.8
		7.0	0.2	22.3	7.4		0.8
			0.4	28.1	6.4		13.5
			0.6	28.5	5.8		20.0
			0.8	28.9	5.4		27.3
			1.0	29.5	5.2		33.9
			1.2	29.9	5.3		38.4
			1.4	29.9	5.5		41.2
			1.6	29.9	5.7		44.1
		8.0	1.8	29.8	6.4		44.4
			2.0	29.8	5.2		33.9
			0.2	23.1	8.2		0.5
			0.4	27.6	7.2		10.3
			0.6	28.5	6.3		15.7
			0.8	28.7	5.9		20.6
			1.0	29.0	5.6		26.3
			1.2	29.3	5.4		31.3
			1.4	29.8	5.4		35.4
			1.6	29.8	5.4		38.7
			1.8	29.8	5.5		41.6

(12)

$\delta$ (deg)	$h/d$	$b/B$	$y/B$	Sway 幅	$x_0/L$	可航幅	操舵頻度		
15.0	6.0	8.0	2.0	29.8 m	5.7	B	43.9 %		
			2.2	29.8	6.0		46.6		
			2.4	29.6	6.7		46.8		
			2.6	29.3	8.4		44.6		
	7.0	4.0	0.2	19.7	5.7		3.3		
			0.4	27.8	6.0		19.1		
			0.6	28.7	5.6		31.9		
			0.8	29.1	8.5		32.3		
		5.0	0.2	19.7	6.1		2.0		
			0.4	27.9	6.0		12.3		
			0.6	28.7	5.5		25.0		
			0.8	29.2	5.5		32.8		
		1.0	29.8	5.7		38.0			
			1.2	29.7		8.8	33.1		
			6.0	0.2		21.6	6.6		1.3
				0.4		28.1	10.2		21.1
				0.6		28.6	5.5		23.5
				0.8		29.1	5.4		30.4
		1.0		29.6	5.4	34.9			
		1.2		29.9	5.6	38.1			
	1.4	29.8	6.1		38.6				
		1.6	29.6		9.3	32.6			
		7.0	0.2		24.4	7.9		0.5	
			0.4		28.0	10.2		20.8	
			0.6		28.4	5.9		18.6	
			0.8		28.9	5.5		25.1	
	1.0		29.3	5.4	30.5				
	1.2		29.7	5.5	34.6				
	1.4		29.7	5.6	37.1				
	1.6		29.8	5.8	39.5				
	1.8	29.5	6.4		39.7				
		2.0	29.3		8.0	37.2			
		8.0	0.2		26.4	8.2		6.0	
			0.4		27.8	7.4		10.0	
			0.6		28.4	6.5		14.6	
			0.8		28.6	6.0		19.1	
			1.0		28.8	5.7		24.0	
			1.2		29.2	5.6		28.6	
	1.4		29.5	5.5	32.2				
	1.6		29.7	5.6	34.8				
	1.8		29.7	5.7	37.3				
	2.0		29.8	5.9	39.3				
	2.2		29.3	6.0	41.6				
	2.4		29.2	6.7	41.8				
	2.6	29.4	8.2	39.9					

(13)

$\delta$ (deg)	$h/d$	$b/B$	$y/B$	Sway 幅	$x_0/L$	可航幅	操舵頻度
35.0	2.0	4.0	0.2	16.3 m	4.3	B	4.9%
			0.4	26.1	7.8		20.6
			0.6	28.6	4.4		34.9
			0.8	—	—		—
		5.0	0.2	15.9	4.3		3.3
			0.4	27.3	7.9		17.8
			0.6	28.2	4.1		27.1
			0.8	29.5	4.0		37.4
			1.0	30.2	4.3		43.8
			1.2	—	—		—
		6.0	0.2	17.1	4.6		2.2
			0.4	26.9	7.6		18.6
			0.6	28.4	4.2		25.4
			0.8	29.3	3.9		34.6
			1.0	30.3	4.0		40.6
			1.2	30.9	5.0		53.1
			1.4	30.6	5.9		51.8
			1.6	—	—		—
		7.0	0.2	19.7	5.6		1.1
			0.4	27.1	5.7		10.8
			0.6	28.0	4.7		18.9
			0.8	28.8	4.1		27.9
			1.0	29.8	3.9		35.3
			1.2	30.4	4.6		47.1
			1.4	31.2	5.1		52.4
			1.6	30.2	5.0		50.6
			1.8	29.5	5.9		44.4
			2.0	—	—		—
		8.0	0.2	17.3	5.5		1.1
			0.4	27.2	8.6		15.9
			0.6	28.0	5.3		14.3
			0.8	28.4	4.8		19.7
			1.0	28.8	4.3		26.7
			1.2	29.4	4.1		32.0
			1.4	29.7	4.1		36.7
			1.6	29.9	4.1		40.4
			1.8	30.6	4.9		49.8
			2.0	30.1	5.2		50.0
			2.2	29.6	5.1		46.9
			2.4	29.3	6.7		46.3
			2.6	—	—		—
	3.0	4.0	0.2	16.7	4.6		3.6
			0.4	26.6	7.8		20.1
			0.6	28.3	4.8		27.9
			0.8	—	—		—

(14)

$\delta$ (deg)	$h/d$	$b/B$	$y/B$	Sway 幅	$x_0/L$	可航幅	操舵頻度
35.0	3.0	5.0	0.2	17.6 m	4.9	B	2.1 %
			0.4	26.6	7.7		18.2
			0.6	28.5	4.6		22.1
			0.8	29.2	4.4		29.9
			1.0	29.6	4.7		34.5
			1.2	—	—		—
		6.0	0.2	17.5	5.1		1.6
			0.4	27.1	10.1		21.7
			0.6	28.2	4.6		20.7
			0.8	28.9	4.3		27.5
			1.0	29.6	4.3		32.1
			1.2	29.6	4.5		34.5
		7.0	0.2	17.7	5.8		1.1
			0.4	27.2	8.2		16.6
			0.6	28.0	5.0		16.0
			0.8	28.5	4.5		22.7
			1.0	29.2	4.3		27.8
			1.2	29.7	4.4		31.8
		8.0	0.2	18.5	6.5		0.6
			0.4	27.7	6.4		8.4
			0.6	28.0	5.6		12.5
			0.8	28.2	5.2		16.2
			1.0	28.6	4.7		21.4
			1.2	28.8	4.5		25.9
			1.4	29.0	4.4		29.1
			1.6	29.5	4.5		31.8
			1.8	29.3	4.7		33.6
			2.0	29.3	5.0		35.3
			2.2	29.3	5.3		36.7
			2.4	28.6	6.5		36.3
			2.6	16.3	10.3		29.4
	4.0	4.0	0.2	18.7	5.1		2.4
			0.4	27.1	10.3		21.2
			0.6	28.3	5.4		23.8
			0.8	6.1	10.3		15.6
		5.0	0.2	18.4	5.3		1.6
			0.4	27.5	7.8		17.7
			0.6	28.2	4.8		19.2

(15)

$\delta(\text{deg})$	$h/d$	$b/B$	$y/B$	Sway 幅	$x_0/L$	可航幅	操舵頻度
35.0	4.0	5.0	0.8	28.8 m	4.7	B	24.9 %
			1.0	29.3	5.0		28.5
			1.2	—	—		—
		6.0	0.2	18.9	5.9		1.1
			0.4	27.6	5.5		11.3
			0.6	28.0	4.9		17.8
			0.8	28.7	4.6		23.0
			1.0	29.2	4.6		26.6
			1.2	29.5	4.9		28.5
			1.4	29.2	5.5		28.5
			1.6	0.5	9.1		14.3
		7.0	0.2	19.9	6.6		0.6
			0.4	27.3	8.9		15.0
			0.6	28.0	5.5		13.6
			0.8	28.4	4.8		19.0
			1.0	28.7	4.6		23.3
			1.2	29.3	4.8		26.0
			1.4	29.1	4.9		28.0
			1.6	29.0	5.1		29.4
			1.8	28.9	6.1		28.8
			2.0	28.6	9.2		25.7
		8.0	0.2	18.5	6.5		0.6
			0.4	27.8	6.7		7.7
			0.6	28.1	5.9		11.2
			0.8	28.0	5.3		14.3
			1.0	28.5	5.1		18.3
			1.2	28.7	4.8		21.8
			1.4	28.8	4.7		24.5
			1.6	29.3	4.8		26.5
			1.8	29.3	5.0		28.1
			2.0	28.8	5.2		29.4
			2.2	28.9	5.6		30.5
			2.4	28.5	6.5		30.2
			2.6	28.3	9.8		27.4
	5.0	4.0	0.2	16.7	5.1		2.4
			0.4	27.2	8.0		18.3
			0.6	28.1	5.3		20.8
			0.8	28.4	9.6		19.1
		5.0	0.2	16.9	5.3		1.6
			0.4	27.2	7.9		17.0
			0.6	28.3	5.2		16.8
			0.8	28.5	5.0		21.6
			1.0	29.1	5.2		24.8
			1.2	26.9	10.3		16.6

(16)

$\delta$ (deg)	$h/d$	$b/B$	$y/B$	Sway 幅	$x_0/L$	可航幅	操舵頻度
35.0	5.0	6.0	0.2	17.6 m	5.7	B	1.1 %
			0.4	27.2	8.0		17.5
			0.6	28.2	5.2		16.0
			0.8	28.4	4.8		20.3
			1.0	29.1	4.9		23.2
			1.2	29.0	5.0		24.8
			1.4	28.9	5.6		24.7
			1.6	21.6	10.3		14.6
		7.0	0.2	18.7	6.7		0.6
			0.4	27.2	8.6		15.4
			0.6	27.8	5.5		12.4
			0.8	28.3	5.0		16.9
			1.0	28.7	5.0		20.4
			1.2	29.0	4.9		23.1
			1.4	28.9	5.1		24.3
			1.6	28.9	5.3		25.3
			1.8	28.6	6.2		24.8
			2.0	28.4	8.4		22.4
		8.0	0.2	22.7	7.1		0.3
			0.4	26.8	7.2		6.3
			0.6	27.9	6.2		10.1
			0.8	27.9	5.6		12.9
			1.0	28.2	5.2		16.1
			1.2	28.5	5.0		18.9
			1.4	28.7	5.0		21.2
			1.6	28.9	5.0		22.9
			1.8	29.1	5.2		24.2
			2.0	28.7	5.3		25.2
			2.2	28.5	5.7		26.4
			2.4	28.4	6.5		26.0
			2.6	28.2	8.9		23.8
	6.0	4.0	0.2	17.1	5.3		2.0
			0.4	24.4	8.5		16.9
			0.6	28.1	5.4		18.6
			0.8	28.3	8.8		17.3
		5.0	0.2	18.9	5.9		1.1
			0.4	27.3	5.8		9.9
			0.6	27.9	5.2		15.4
			0.8	28.5	5.2		19.0
			1.0	28.7	5.3		22.0
			1.2	28.8	9.3		17.5
		6.0	0.2	20.7	6.4		0.6
			0.4	26.9	6.1		8.8
			0.6	28.0	5.3		14.4

(17)

$\delta$ (deg)	$h/d$	$b/B$	$y/B$	Sway 幅	$x_0/L$	可航幅	操舵頻度
35.0	6.0	6.0	0.8	28.5 m	5.0	B	18.0 %
			1.0	28.9	5.0		20.9
			1.2	28.8	5.2		22.1
			1.4	28.6	5.7		21.9
			1.6	28.6	9.9		17.2
		7.0	0.2	24.0	7.6		0.3
			0.4	27.6	9.0		15.1
			0.6	28.2	5.7		11.6
			0.8	28.2	5.3		15.1
			1.0	28.5	5.1		18.4
			1.2	28.7	5.1		20.3
			1.4	28.8	5.3		21.6
			1.6	28.5	5.5		22.3
			1.8	28.4	6.2		22.1
			2.0	28.5	8.1		20.1
		8.0	0.2	21.9	8.0		0.3
			0.4	27.5	7.3		6.5
			0.6	27.8	6.2		9.3
			0.8	28.1	5.8		11.8
			1.0	28.3	5.4		14.8
			1.2	28.6	5.2		17.1
			1.4	28.5	5.2		18.8
			1.6	28.8	5.2		20.3
			1.8	29.0	5.4		21.5
			2.0	28.6	5.6		22.1
			2.2	28.3	5.8		23.3
			2.4	28.2	6.5		23.0
			2.6	28.1	8.1		21.3
	7.0	4.0	0.2	18.8	5.7		1.5
			0.4	27.4	6.1		10.9
			0.6	28.0	5.6		17.0
			0.8	28.4	8.4		16.1
		5.0	0.2	18.0	5.9		1.0
			0.4	27.2	6.0		9.3
			0.6	28.0	5.4		14.1
			0.8	28.4	5.3		17.6
			1.0	28.6	5.5		20.1
			1.2	28.7	8.8		16.2
		6.0	0.2	19.6	6.5		0.6
			0.4	26.9	8.2		16.5
			0.6	28.2	5.5		13.6
			0.8	28.4	5.2		16.7
			1.0	28.8	5.3		18.8
			1.2	28.8	5.3		20.1



(18)

$\delta$ (deg)	$h/d$	$b/B$	$y/B$	Sway幅	$x_0/L$	可航幅	操舵頻度
35.0	7.0	6.0	1.4	28.6 m	5.8	B	19.8 %
			1.6	28.3	9.2		15.9
		7.0	0.2	23.2	7.9	0.3	
			0.4	27.1	8.6	15.6	
			0.6	27.9	5.9	10.8	
			0.8	28.2	5.3	14.3	
			1.0	28.3	5.2	16.5	
			1.2	28.8	5.3	18.7	
			1.4	28.7	5.4	19.4	
			1.6	28.6	5.6	20.4	
			1.8	28.6	6.3	20.2	
			2.0	28.3	7.9	18.2	
		8.0	0.2	21.4	8.3	0.2	
			0.4	27.4	9.7	13.1	
			0.6	27.8	6.4	8.7	
			0.8	27.9	5.9	10.9	
			1.0	28.1	5.6	13.7	
			1.2	28.5	5.3	15.8	
	1.4		28.7	5.3	17.5		
	1.6		28.5	5.3	18.7		
	1.8	28.8	5.5	19.6			
	2.0	28.5	5.7	20.4			
	2.2	28.3	5.8	21.2			
	2.4	28.2	6.5	20.9			
	2.6	28.1	8.1	19.3			